

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2949-1835

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПЛАНИРОВКЕ ТЕРРИТОРИЙ

ТОМ 02
№1
2023



- СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ
- ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ
- ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
- СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА
- ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
- УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

MODERN TRENDS IN CONSTRUCTION, URBAN AND TERRITORIAL PLANNING

WWW.STSG-DONSTU.RU



Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий

Т. 2, № 1, 2023

Электронный научно-практический журнал

ISSN 2949-1835 (online)
DOI: 10.23947/2949-1835

Учредитель и издатель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

В журнале публикуются научные статьи по следующим направлениям:

- *Строительные конструкции, здания и сооружения;*
- *Основания и фундаменты, подземные сооружения;*
- *Строительные материалы и изделия;*
- *Технология и организация строительства;*
- *Строительная механика;*
- *Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов;*
- *Управление жизненным циклом объектов строительства.*

Учредитель и издатель журнала является членом Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС77-83923 от 16 сентября 2022 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

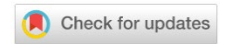
Над номером работали:
С. Г. Студенникова, А. О. Северин, И. В. Контарев, Н. Р. Гаспарян

Адрес учредителя, издателя и редакции:
344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. +7 (863) 2-738-372
https://sovtends.elpub.ru/
E-mail: sovtendstr@gmail.com



СОДЕРЖАНИЕ





УДК 69:004
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-4-11

Научная статья



Нормативное регулирование и опыт внедрения BIM на различных этапах жизненного цикла объекта строительства в России

С. Г. Шеина **, С. Л. Шуйков**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
sshuykov@mail.ru

Аннотация

Введение. Статья посвящена проблемам и перспективам развития информационных технологий (BIM) в строительной отрасли страны, действующим стратегиям развития, внедрению BIM-технологий и их влиянию на строительную индустрию. Доказано, что создание цифрового двойника на этапе проектирования объекта строительства позволяет эффективно управлять им как на этапе строительства, так и на этапе эксплуатации. Исследования в области нормативного регулирования BIM-технологий обозначили возможности их использования в строительных организациях. Определены этапы жизненного цикла объектов капитального строительства, показаны категории компаний, использующих BIM-технологии в практике проектирования и строительства. Цель исследования — выявление проблем, тормозящих внедрение технологий информационного моделирования в строительной отрасли в Российской Федерации, и предложение путей их решения путем автоматизации всех процессов на различных этапах жизненного цикла объектов капитального строительства.

Материалы и методы. Существует довольно много факторов, оказывающих прямое и косвенное влияние на время внедрения BIM в строительную отрасль: роль государства, сформированная философия строительства и многое другое. Серьезные подвижки можно увидеть в скандинавских странах, Нидерландах, Германии, Сингапуре, Франции. Первенство — у США и Великобритании. Но говорить о полном внедрении BIM в строительную отрасль даже в этих странах не следует. В Российской Федерации использован опыт внедрения BIM-технологий в строительную сферу Великобритании. Главный результат для властей Великобритании при реализации внедрения информационных технологий — максимальная прозрачность расходования бюджетных средств и контроль стоимости строительства. Поэтому все государственные стройки ведутся с использованием технологий информационного моделирования. И Россия частично переняла в свою отрасль зарубежный опыт — согласно постановлению Правительства № 331, проектирование всех капитальных зданий и сооружений по федеральному и региональному заказам должно вестись с использованием информационной модели, а введённое ранее постановление Правительства РФ № 1431 регламентирует состав материалов и общие правила их формирования при включении в информационную модель.

Результаты исследования. В Российской Федерации внедрение BIM-технологий в строительную отрасль регламентируется следующими нормативными документами: Градостроительный кодекс РФ, постановления Правительства РФ, национальные стандарты РФ (ГОСТ) и своды правил (СП), методические рекомендации и требования к проведению государственной экспертизы проектной документации и оценке информационной модели. Информацию по нормативным документам следует смотреть на официальных порталах, таких как НОТИМ, НОПРИЗ, а также на сайте Минстроя. В целом BIM-технологий в России развиты слабо. На этапах строительства и эксплуатации BIM-технологии практически не используются.

Обсуждение и заключения. Информационное моделирование здания представляет собой больше, чем просто новый способ в проектировании. Это принципиально другой взгляд на управление жизненным циклом объекта (возведение и оснащение оборудованием, обеспечение эксплуатации и ремонтные работы). Внедрение BIM-технологий в строительный сектор — долгий и противоречивый процесс. Для оптимизации и наладки работы информационных технологий во всех сферах строительства и эксплуатации должно пройти достаточное количество времени. В результате данной работы проработаны основные проблемы внедрения информационного

моделирования в строительстве и найдены пути решения: ускорение внедрения BIM-технологий в России, исходя из зарубежного опыта, необходимо начинать с усиления законодательной основы путем создания национальных стандартов и технических регламентов по инициативе Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации.

Ключевые слова: BIM-технологии, информационное моделирование зданий, технологии информационного моделирования, проектирование, строительные организации, жизненный цикл зданий, строительная отрасль.

Для цитирования. Шеина, С. Г. Нормативное регулирование и опыт внедрения BIM на различных этапах жизненного цикла в России / С. Г. Шеина, С. Л. Шуйков // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2023. — Т. 2, № 1. — С. 4–11. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-4-11

Original article

Russia's Legal Regulation and Experience in the Field of BIM Implementation at Different Stages of the Construction Facility Life Cycle

Svetlana G. Sheina , **Stanislav L. Shuykov** ✉

Don State Technical University, 1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ sshuykov@mail.ru

Abstract

Introduction. The article focuses on the problems and prospects of building information modelling (BIM) technologies development in the construction industry of the country, valid development strategies, BIM technologies implementation and influence in the construction industry. It has been proved that creation of a digital twin of a construction facility at the design stage ensures its efficient management at the construction as well as operational stages. By studying BIM technologies legal regulation framework the possibilities of their use by the construction organisations have been outlined. The stages of the capital construction facilities life cycle have been defined, the categories of companies using BIM technologies in designing and construction practices have been specified. The aim of the study is to identify the problems hindering implementation of information modeling technologies in the construction industry of the Russian Federation and to propose solutions through automation of all processes at different stages of the capital construction facility life cycle.

Materials and Methods. There are plenty of factors directly and indirectly affecting the time period of BIM implementation in the construction industry: the role of the state, the existing construction philosophy and many others. Considerable progress can be observed in the Scandinavian countries, in Netherlands, Germany, Singapore, France. The leading positions belong to the USA and Great Britain. But even in these countries it would be wrong to speak about complete implementation of BIM in the construction industry. In the Russian Federation the UK experience of BIM technologies implementation in the construction industry is used. For the UK authorities the main outcome of the information technologies implementation is maximum transparency of budget spending and control of construction costs. Therefore, all state construction projects are executed using the information modeling technologies. Russia has partly adopted the foreign countries experience in its construction industry – according to the Government Regulation No. 331 the design of all capital buildings and structures under the federal and regional orders must be carried out using an information model; and the package of materials to be included into an information model and general rules for its formation are regulated by the Russian Federation Government Regulation No. 1431, put into effect earlier.

Results. In the Russian Federation the implementation of BIM technologies in the construction industry is regulated by the following regulatory documents: the Urban Planning Code of the Russian Federation, the Russian Federation Government Regulations, National Standards of the Russian Federation (GOST) and Codes of Practices (SP), Methodological Guidelines and Requirements for the State Expert Appraisal of Design Documentation and assessment of the information model. One should refer to the regulatory documents available on the official websites such as websites of the National

Association of Organisations in the field of Information Modelling Technology (NOTIM), National Designers and Surveyors Association (NOPRIZ), as well as the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation (Minstroy of Russia). On the whole BIM technologies in Russia are underdeveloped. BIM technologies are practically not used at the stages of construction and operation.

Discussion and Conclusions. Building information modeling is more than just a new way of designing. This is a fundamentally different view on the facility life cycle management (building, installation of equipment, operation and maintenance and repairs). BIM technologies implementation in the construction sector is a long and controversial process. Sufficient time is required to optimise and set up the information technologies application in all areas of construction and operation. This work resulted in working through and finding solutions to the main problems of implementing the information modeling in construction: as follows from the foreign countries experience the acceleration of BIM technologies implementation in Russia should begin with strengthening the legislative framework via drawing up the national standards and technical regulations upon the initiative of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation.

Keywords: BIM technologies, building information modeling, information modeling technologies, designing, construction organisations, buildings life cycle, construction industry.

For citation. S. G. Sheina, S. L. Shuykov. Russia's Legal Regulation and Experience in the Field of BIM Implementation at Different Stages of the Construction Facility Life Cycle. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2023, vol. 2, no 1, pp. 4–11. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-4-11

Введение. Роботизация, кибербезопасность, глобализация, загрязнение окружающей среды, цифровизация и другие прогрессивные тенденции в долгосрочной перспективе предопределяют и влияют на развитие современного общества. Строительство так же, как и другие отрасли экономики, осуществляет переход к цифровой трансформации для всех процессов. Цифровизация в строительной отрасли проявила себя в современных системах автоматизации, в проектах «умный город», в технологии информационного моделирования зданий (BIM). Цифровое строительство предполагает автоматизацию всех процедур и стадий на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства [1]. Применение технологий информационного моделирования является конкретным инструментом цифровой трансформации строительной отрасли [2].

Такой подход моделирования объектов имеет ряд положительных эффектов, в том числе сокращение ресурсов: времени, материальных средств, трудозатрат. Кроме того, они достаточно мобильны, надёжны и имеют возможность предоставить высокую степень детализации предполагаемого объекта [3].

Актуальность выбранной темы подтверждается тем, что информационное моделирование зданий и сооружений – это сравнительно новый подход в отрасли строительства, который требует изучения, а использование информационных моделей при эксплуатации является перспективным направлением в разных сферах обслуживания зданий. Это подтверждается обширным рядом публикаций и книжными изданиями по тематике работы и по смежным тематикам исследований.

Материалы и методы. Весной 2021 года вышло постановление Правительства № 331 [11], согласно которому с 1 января 2022 года проектирование всех капитальных строек по федеральному и региональному заказам должно вестись с использованием информационной модели. Состав материалов и общие правила формирования, включаемые в информационную модель, основываются на постановлении Правительства РФ № 1431 [12]. Следуя постановлениям Правительства, предполагается сделать отрасль более прозрачной, счетной и контролируемой, что придаст мощный импульс развитию BIM-технологий в России.

Однако, главным драйвером роста должно стать принятие Правительством постановления, регламентирующего процедуру прохождения информационных моделей через органы государственной экспертизы с последующим получением разрешения на строительство. Это позволит заказчикам уже на прединвестиционной стадии

планировать заказ на разработку информационной модели объекта капитального строительства или городской территории.

Опыт зарубежных стран, таких как страны Скандинавии, Нидерланды, Германия, Сингапур, Франция, и особенно США и Великобритания, показывает главенствующую роль государства в развитии BIM-технологий в строительной сфере [13–18].

Стоит отметить, что в Великобритании промежуток от принятия стратегии к обязательному использованию BIM-технологий в госзаказах занял десять лет при наличии подробного стандарта. В России на переход к использованию BIM-технологии выделено значительно меньше времени, а государственный стандарт в области информационного моделирования отсутствует, вследствие чего строительные компании сами разрабатывают BIM-стандарты своих организаций.

Результаты исследования. Внедрение BIM-технологий регламентируется следующими нормативными актами (рис. 1).

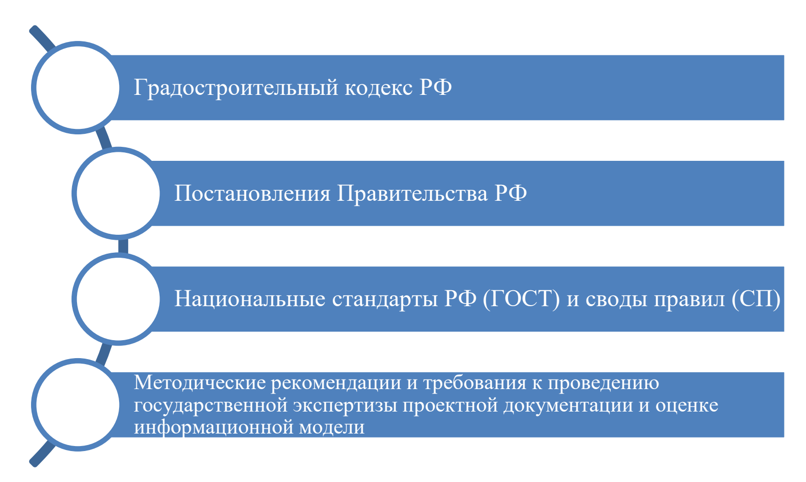


Рис. 1. Регламентирование внедрения BIM-технологий (рисунок авторов)

Основными документами внедрения и регулирования BIM-технологий в строительной отрасли стали следующие правительственные акты (таблица 1).

Таблица 1

Основополагающие нормативно-правовые акты регулирования применения BIM-технологий

Название нормативного акта	Описание акта
Постановление Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 г. № 1431 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства»	Является основополагающим документом, формирующим нормативную базу в области строительного информационного моделирования
Постановление Правительства Российской Федерации от 5 марта 2021 г. № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства»	Установило обязательное применение BIM-технологий при выполнении государственных контрактов с 1 марта 2022 года. Исключение составляют только объекты, которые создаются в интересах обороны и безопасности государства

Причины медленного внедрения BIM-технологий [13–17] отражены в таблица 2.

Таблица 2

Причины медленного внедрения BIM в строительной отрасли

Причины	Описание причины
Завышенные ожидания от использования BIM-технологий	Переход к BIM-технологиям не означает автоматический перевод предприятия на более высокотехнологичный, эффективный и качественный уровень производства. Только грамотный и последовательный, основанный на практическом опыте и адаптированный под нужды конкретной компании, процесс перехода к BIM-технологиям позволит добиться хороших результатов. Следует также отметить, что положительный эффект от применения BIM-технологий проявляется не сразу, нарастает постепенно и во многом зависит от степени вовлеченности компании в BIM.
Высокая стоимость внедрения	Первоначальная стоимость модернизации оборудования и технологий (приобретение соответствующего ПО, мощных компьютеров, облачных хранилищ) существенно увеличивает финансовую нагрузку на экономику компаний. Кроме того, требуются различные уровни обучения. Если у руководителя проекта нет необходимого навыка, организация должна нанять специального менеджера BIM, что может снова увеличить стоимость.
Однополярность проектировщиков	Большое количество проектировщиков разделяют мнение, что от 2D-проектирования никуда не деться, и что AutoCAD (и подобные программные комплексы) является единственным инструментом, который в полной мере может воплотить задуманное в жизнь, ссылаясь на несовершенство программ и отсутствие каких-либо программ для разработки чертежей.
Проблемы с подготовкой специалистов	Большинство строительных организаций не имеют сотрудников, которые являются экспертами в методах и принципах BIM-проектирования. Образование на данный момент несоизмеримо отстаёт от развития новых технологий, из-за этого есть проблема с подготовкой специалистов, умеющих работать с информационным моделированием. Также многие преподаватели сами не совсем понимают, в чем суть информационного моделирования зданий.
Недостаточная заинтересованность государства в данных технологиях	Хотя Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) приняло концепцию развития BIM-технологий в России до 2024 г., но все же медленно начало реагировать на развитие данного направления при том, что проектные организации за несколько лет до этого уже использовали подобные технологии. Отсутствует единый стандарт BIM-проектирования, утвержденный на федеральном уровне.
Ясность ролей	Важно прояснить разные роли и обязанности сотрудников, работающих в модели, поскольку в проектах часто участвует много разных участников строительной отрасли.

Информационное моделирование — перспективное направление в строительной отрасли, требующее развития. Опыт внедрения BIM в различных государствах, в которых данная концепция активно используется, наша страна может использовать для распространения в своей строительной отрасли. Использование BIM-технологии при архитектурно-строительном проектировании позволяет избежать коллизий и быстро исправить допущенные в проекте ошибки.

Рассмотрим, на каких этапах жизненного цикла объекта и в каких категориях компаний применяются BIM-технологии в России (таблица 3).

Таблица 3

Использование BIM-технологий в России

BIM-технологии проектирования в строительной отрасли России используют следующие категории компаний	BIM-технологии используются на следующих этапах жизненного цикла объектов капитального строительства
• строительные компании полного цикла; • компании, оказывающие услуги проектирования инженерных систем; • компании, оказывающие услуги архитектурного, интерьерного, строительного и конструкторского сопровождения; • компании, оказывающие консалтинговые услуги и выполняющие инженерные изыскания; • компании, эксплуатирующие объекты.	• инженерные и строительные изыскания (5 %); • архитектурно-строительное проектирование (50 %); • проектирование строительных конструкций (30 %); • проектирование инженерных систем (30 %); • сопровождение строительства (15 %;) • эксплуатация объектов (5 %).

Применяется BIM и на этапе строительного мониторинга и контроля. В этом случае положительные эффекты состоят в получении актуальной информации о каждом объекте при строительстве и формировании отчетности (аналитической, статистической и финансовой) о ходе работ.

На этапе эксплуатации объектов BIM-модель практически не применяется, несмотря на очевидные преимущества: BIM-модель — это и база данных, и накопитель фактической информации об объекте. В модели хранятся сведения, пополняющиеся с жизненным циклом объекта. Информационная модель объекта может визуализировать состояние инженерных систем и прочего оборудования. Как итог применения — сокращение последующих расходов на эксплуатацию. Благодаря долгосрочным перспективам, выходит максимальная эффективность от использования информационных моделей.

В идеале эксплуатирующие организации на этапе приема здания получают эксплуатационную BIM-модель, включающую все необходимые сведения. Но не в каждой управляющей организации есть сотрудник, способный работать с цифровой моделью и выполнять требования по ее наполнению, контролю. Нет четкого понимания, как полноценно использовать цифровую модель, особенно при эксплуатации объекта после завершения строительства.

Обсуждение и заключения. Проектирование зданий путем создания информационного двойника означает обработку полученной информации о здании со всеми его связями и зависимостями, когда здание и все то, что имеет к нему отношение, рассматривается как единый объект. В настоящее время все ведущие российские застройщики стараются перейти на проектирование в «цифре». Дополнительный импульс к переходу дал локдаун 2020 года. В тот момент BIM-технологии, которые допускают параллельную удаленную работу в программе разных участников процесса, показали свои преимущества.

Безусловно, в России процесс внедрения технологий информационного моделирования в строительстве, базируясь на опыте зарубежных стран, имеет свою специфику, учитывая национальные особенности, степень развития отрасли, потребность в специалистах и т.д. Для разработки новых стандартов необходимы специалисты со специализированной подготовкой в области информационного проектирования, поэтому процесс введения новых стандартов должен охватить и систему образования. Новый Федеральный образовательный стандарт (ФГОС 4-го поколения) направлен как раз на подготовку таких специалистов.

Библиографический список

1. Танько, В. Д. Тенденции цифровизации в строительной сфере / В. Д. Танько, Д. А. Калинина, В. А. Савина // Экономика и предпринимательство. — 2021. — № 2 (127). — С. 184–187.

2. Сыроваткина, Т. Н. Цифровизация воспроизводственной инфраструктуры экономики строительства / Т. Н. Сыроваткина // Фундаментальные исследования. — 2020. — № 4. — С. 104–108.

3. Сулейманова, Л. А. Реализация учетной политики в строительстве с использованием цифровых технологий / Л. А. Сулейманова, П. В. Сапожников // В сб. : Технологии информационного моделирования. Жизненный цикл объекта. — М. : Изд-во МГСУ, 2021. — С. 5–16.

4. A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry / C. Sun, S. Jiang, M. J. Skibniewski [et. al.] // Technol. Econ. Dev. Econ. — 2017. — Vol. 23. — P. 764–779.

5. Петров, К. С. Проблемы внедрения программных комплексов на основе технологий информационного моделирования (BIM-технологий) / К. С. Петров, В. А. Кузьмина, К. Ф. Федорова // Инженерный вестник Дона. — 2018. — № 4. — URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4057.

6. Гришина, Н. М. Разработка и внедрение BIM-стандарта: исследование методов управления в строительстве / Н. М. Гришина, Д. И. Мицко // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. — 2017. — № 3 (41). — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-vnedrenie-bim-standarta-issledovanie-metodov-upravleniya-v-stroitelstve.

7. Морозова, Н. Е. Управление проектом внедрения технологий информационного моделирования на предприятиях строительной отрасли / Н. Е. Морозова, С. Х. Аль-Згуль // Инженерный вестник Дона. — 2017. — № 2. — URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5442.

8. Шеина, С. Г. Исследование этапов развития BIM – технологий в мировой практике и России / С. Г. Шеина, К. С. Петров, А. А. Федоров // Строительство и техногенная безопасность. — 2019. — №1 (66). — С. 7–14. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-etapov-razvitiya-bim-tehnologiy-v-mirovoy-praktike-i-rossii.

9. Chen, Y.-R. H. An Integrated Methodology for Construction BIM & ERP by Using UML Tool / Y.-R. H. Chen, P. Tserng // 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. — 2017.

10. Ahmed, S. Barriers to implementation of building information modeling (BIM) to the construction industry: a review / S. Ahmed // J. Civil Eng. Construct. — 2018. — Vol. 7. — P. 107–113.

11. Постановление Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 г. № 1431 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства» // publication.pravo.gov.ru : [сайт]. — URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202009220002 (дата обращения: 31.01.2023).

12. Петров, К. С. Программы внедрения программных комплексов на основе технологий информационного моделирования (BIM – технологий) / К. С. Петров, В. А. Кузьмина, К. Ф. Федорова // Инженерный вестник Дона. — 2018. — № 4. Постановление Правительства Российской Федерации от 5 марта 2021 г. № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства» : [сайт]. — URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103100026 (дата обращения: 31.01.2023).

13. Трудности поэтапного внедрения BIM / В. В. Шарманов, А. Е. Мамаев, А. С. Болейко, Ю. С. Золотова // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2015. — № 10. — С. 108–120. — URL: https://unistroy.spbstu.ru/article/2015.37.8/.

14. Building Information Modelling (BIM) uptake: clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges / A. Ghaffarianhoseini, J. Tookey, A. Ghaffari-anhoseini [et. al.] // Renew. Sustain. Energy Rev. 2017. — Vol. 75. — P. 1046–1053.

15. Талапов, В. В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В. В. Талапов. — Москва : ДМК-Пресс, 2015. — 410 с.

16. Пурс, Г. А. Опыт Великобритании в области внедрения BIM-технологии в строительстве / Г. А. Пурс // БСТ: бюллетень строительной техники. — 2017. — № 9. — С. 20–23.

17. Проблемы внедрения BIM-технологий в строительном секторе: обзор научных публикаций / С. Г. Абрамян, А. В. Котляревская, О. В. Оганесян [и др.] // Инженерный вестник Дона. — 2019. — № 9. — URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6202.

18. Миндзаева, М. Р. Сравнительный анализ зарубежных стандартов экологического строительства и их влияния на формирование российских эко-стандартов / М. Р. Миндзаева, Ю. В. Горгорова // Инженерный вестник Дона. — 2013. — № 4. — URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2146.

Поступила в редакцию 27.12.2022

Поступила после рецензирования 29.12.2022

Принята к публикации 12.01.2023

Об авторах:

Шеина Светлана Георгиевна — заведующая кафедрой «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, Scopus ID, ORCID, rgsu-gsh@mail.ru.

Шуйков Станислав Леонидович — магистрант кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, sshuykov@mail.ru.

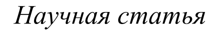
Заявленный вклад соавторов:

С. Л. Шуйков — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, подготовка текста, формирование выводов; С. Г. Шеина — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 624.012.04-52
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-12-21

Научная статья



Технология пост-напряженного армирования железобетонных конструкций

Д. И. Борисов ✉, **М. В. Семенов**, **М. В. Письменсков**, **В. Н. Аксенов**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ borisovdionisij@gmail.com

Аннотация

Введение. При строительстве зданий и сооружений используют большое количество строительных материалов, одним из таких материалов является железобетон. Он занимает лидирующее место при выборе материала для возведения зданий и сооружений. Однако, как и у любого другого материала, у железобетона имеются недостатки: помимо значительного веса железобетонных конструкций к недостаткам можно отнести невозможность перекрывать им большие пролеты, так как с увеличением пролета конструкций снижается экономическая эффективность применения железобетона. Для этого инженеры разработали технологию предварительного напряжения стальной арматуры. Благодаря предварительно напрягаемой арматуре появилась возможность увеличивать пролеты, уменьшать поперечное сечение железобетонных конструкции. Данная научная работа направлена на изучение технологии напряжения стальной арматуры на бетон.

Материалы и методы. Материалы для исследования были получены из имеющихся научно-исследовательских книг, статей, журналов и блогах в сети интернет. Для написания статьи был использован метод контент-анализа документов. В исследовании планируется найти информацию по технологии пост-напряжения. Объект исследования – предварительное напряжение стального каната на бетон.

Результаты исследования. Благодаря проведенным исследованиям были получены данные об истории возникновения технологии напряженной арматуры, проанализированы преимущества и недостатки пост-напряженного армирования.

Обсуждение и заключение. После проведения исследования были получены данные о технологии напряжения стальной арматуры на бетон, рассмотрено применение технологии в России при строительстве промышленных и гражданских объектов. При использовании этой технологии появляется возможность увеличения пролетов и уменьшения поперечного сечения железобетонных конструкций.

Ключевые слова: железобетон, преднапряжение, пост-напряжение, канатная арматура, стальной стержень, пластина, каналообразователь, оболочка, тяжной анкер, сцепление бетона.

Для цитирования. Технология пост-напряженного армирования железобетонных конструкций / Д. И. Борисов, М. В. Семенов, М. В. Письменсков, В. Н. Аксенов // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2023. — Т. 2, № 1. — С. 12–21. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-12-21

Original article

Technology of the Reinforced Concrete Structures Post-Tensioning

Dionisij I. Borisov, **Maksim V. Semenov**, **Michael V. Pismenskov**, **Vladimir N. Aksenov**

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation
✉borisovdionisij@gmail.com

Abstract

Introduction. A large number of building materials is used for construction of buildings and structures, the reinforced concrete is being one of them. It has the leading position when choosing the material for construction of buildings and structures. However, like any other material, the reinforced concrete has its disadvantages: apart from considerable weight of the reinforced concrete structures, the impossibility to cover with them the large spans can also be referred to

disadvantages, as the increase of structures' spans impairs the economic efficiency of using the reinforced concrete. To handle this, engineers have developed the technology of steel reinforcement prestressing. Thanks to prestressed reinforcement, it has become possible to increase the spans and reduce the cross section of the reinforced concrete structures. This scientific paper investigates the technology of steel reinforcement post-tensioning.
Materials and Methods. The materials for the research were obtained from the available scientific editions, articles, journals and Internet blogs. The documents' content analysis method was used to write the article. In the course of the research, it is planned to find the information about the post-tensioning technology. The object of the study is the steel wire-rope post-tensioning.
Results. Thanks to the research, the data on the history of origin of the reinforcement prestressing technology was obtained and the advantages and disadvantages of post-tensioning were analysed.
Discussion and Conclusions. After the research, the data on the technology of steel reinforcement post-tensioning was obtained, the application of the technology in Russia in the construction of industrial and civil facilities was considered. This technology allows increasing the spans and reducing the cross section of the reinforced concrete structures.

Keywords: reinforced concrete, prestressing, post-tensioning, steel wire-rope reinforcement, steel rod, plate, ducttube, cable sheath, tendon anchor, concrete bonding.

For citation. D. I. Borisov, M. V. Semenov, M. V. Pismenskov, V. N. Aksenov. Technology of the Reinforced Concrete Structures Post-Tensioning. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2023, vol. 2, no. 1, pp. 12-21. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-12-21

Введение. В современном мире строительство зданий и сооружений играет важную роль. Благодаря этой отрасли обеспечивается комфортное существование современного общества. Безопасность здания (состояние строительных конструкций, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан) – одна из составляющих комфорта. Для обеспечения безопасности зданий и сооружений разрабатываются, исследуются и применяются различные технологичные решения, которые не только повышают безопасность, но и являются экономически эффективными. Рассмотрено несколько таких решений, например, создание железобетона. Его использование помогает возводить чудеса инженерной изобретательности. Например, в Торонто возвели самое высокое в мире отдельно стоящее сооружение из железобетона высотой 555 м — телебашню. Ее сечение в виде трилистника является очень хорошим решением для применения технологии предварительного напряжения арматуры.

Предварительное напряжение — это приложение к конструкции сил, стремящихся сжать железобетонный элемент и придать ему обратный выгиб в ненагруженном состоянии. Обычно предварительное напряжение применяется при отсутствии противодействия изгибающим и растягивающим напряжениям, которые возникают в результате приложения нагрузок.

Предварительное напряжение на бетон играет важную роль в мостостроении и в строительстве промышленных зданий и сооружений. В настоящее время преднапряжение на бетон приобретает популярность в гражданском строительстве.

Цели данного научного исследования:

– изучение истории создания технологии предварительного напряжения;

– изучение методов и материалов, используемых при натяжении на бетон;

– изучение объектов, в которых применялась указанная технология.

Чтобы реализовать цели, потребовалось выполнить следующие задачи:

– собрать и проанализировать историческую информацию по технологии;

– сравнить выводы различных научных статей и книг;

– разработать предложения по популяризации технологии предварительного напряжения при строительстве гражданских объектов.

Материалы и методы. В настоящее время при использовании напряжения на бетон используется современная высокопрочная сталь. Однако требования к стали, используемой в напряжении, менялись на протяжении всего времени ее использования. В 1872 г. P. H. Jackson, инженер из г. Сан-Франциско, получил патент на пост-напряжение. Он вставил стальные стержни в блоки каменной кладки и напряг их с помощью резьбового устройства. Этому примеру последовал инженер из Германии C. W. Doehring, в 1888 г. он получил патент на предварительное напряжение плит с помощью металлической проволоки [2]. Так как сталь в то время имела низкий предел текучести, то первые попытки не увенчались успехом, и напряжение, создаваемое домкратом на проволоку в сочетании с высокой ползучестью и усадкой бетона, приводило к потере большей части усилия напряжения, приложенного к конструкции, в результате чего стальная преднапряженная проволока оказалась малоэффективной [1–3]. Начиная с 1926 г. по 1928 г. Eugene Freyssinet, инженер из Франции, изучал, как влияют долгосрочные потери напряжения при предварительном напряжении, и использовал новую высокопрочную сталь для успешного изготовления предварительно напряженных элементов во Франции. В 1940 г. он представил хорошо известную и широко принятую систему Freyssinet [4, 5], состоящую из конических клиновидных анкеров для 12 проволочных сухожилий (рис. 1). Разработки в области получения высокопрочной стали в сочетании с изобретением оборудования для предварительного напряжения стали еще одним важным прорывом в эффективном применении предварительного напряжения. Многие видные инженеры исследовали преднапряжение в бетоне, однако основное внимание в деятельности по предварительному напряжению уделялось мостостроению и специальным конструкциям.



а) б)

Рис. 1. Раннее анкерное устройство Freyssinet: а) внутренний конус; б) узел крепления [1]

Только в начале 1950-х годов в США инженеры-новаторы пересмотрели применение предварительного напряжения для устранения трещин и уменьшения прогибов в тонких плоских плитах в зданиях [6, 7]. Хотя этим новаторам следует отдать должное за введение предварительного напряжения, основной инструмент проектирования для его применения был предложен T. Y. Lin в виде концепции «балансировки нагрузки».

В настоящее время технология пост-напряженного армирования широко используется в мире [8] (рис. 2).

Одним из первых инженеров, который начинал исследовать эту технологию в России, был В. В. Михайлов. В 1936 г. он предложил натянуть арматуру до ее предельных значений, после чего залить бетоном, выдержать до набора проектной прочности, а затем нагрузить ее до предельных расчетных значений. В результате при такой нагрузке конструкция должна работать так, что в растянутой зоне, где обычно появляются повреждения, трещины не будут раскрыты вплоть до исчерпания несущей проектной способности. Такая конструкция стала популярная настолько, что уже в 1960-х годах сборный предварительно напряженный железобетон производился в объеме более 30 млн. м^3 в год, и в то время этот показатель был значительно выше, чем в других странах [9, 10].



Рис. 2. Постнатяжение стальных прядей в трубе[1]

В России предварительное напряжение с натяжением на бетон широко применяется при строительстве путепроводов и мостов, но при строительстве гражданских зданий практически не применяется. Это обуславливается как дороговизной технологии и нехваткой высококвалифицированных специалистов, что увеличивает стоимость проектирования и монтажа, так и нехваткой научно-исследовательской литературы.

В основном технологию предварительного напряжения конструкций используют на строительной площадке. Элементы, которые необходимы для напряжения, прокладывают в трубках (каналообразователях). Эти трубки служат для скольжения каната (при натягивании его домкратами), защиты от внешних повреждений и противодействия возникновению ржавчины на поверхности стальных канатов. После прокладки канатов в трубки производится бетонирование конструкции (используемый бетон должен соответствовать требуемому проектному классу прочности). Как только бетон затвердел, то сталь внутри трубок подвергается напряжению с помощью гидравлических домкратов. После натяжения канаты фиксируют, а оставшееся пространство внутри трубок заполняют раствором (применяют жидкий цементный безусадочный раствор для защиты от коррозии и передачи усилий на кожуховый канал) и запрессовывают. Напрягающие элементы располагают так, чтобы стальные канаты работали в соответствии с заданными проектом условиями и режимом работы. Очередность установки напрягаемой и ненапрягаемой арматуры определяется как проектом, так и длиной самих напрягаемых элементов (длинные элементы устанавливаются после раскладки ненапрягаемой арматуры, короткие — вместе).

Так как пост-напряжение используется в серьезных конструкциях, то и к бетону, используемому в таких конструкциях, предъявляются специальные требования:

1) малая усадка (зависит от количества воды и добавок в бетоне, влажности воздуха, соприкасающегося с поверхностью бетона, и линейных размеров конструкции);

2) ползучесть бетона (зависит от прилагаемой нагрузки на проектируемую конструкцию, условий, создаваемых для набора прочности бетона, и размеров конструкции);

3) высокая прочность на сжатие (зависит от класса прочности бетона).

[1] Постнатяжение стальных прядей в трубе / LITEC // litec.org : [сайт]. URL: https://litec.org (дата обращения : 22.02.2023)

Все три параметра должны учитываться, так как малейшее отклонение от заданных проектом параметров станет причиной укорачивания (изменения геометрических параметров конструкции), что повлечет за собой уменьшение напряжения в стальных прядях и приведет к увеличению прогибов, раскрытию трещин. К стали, используемой в качестве напрягающего элемента, также предъявляются особые требования: условия температурной эксплуатации, характер нагружения конструкций, высокая прочность (чтобы выдерживать нагрузки натяжения), способность сцепления с бетоном достаточная, чтобы передавать усилия на раствор.

Каналообразователи (кожуховые каналы), внутрь которых прокладывается стальной канат, изготавливают как из прочной гофрированной пластмассы, так и из волнистой металлической жести. Материал требуется достаточно плотный и герметичный, чтобы внутрь канала ничего не попадало, например, при бетонировании не затекало «цементное молоко». Форму гофры и волны выбрали не случайно — такая форма способствует надежному сцеплению каналообразователя с бетоном проектируемой конструкции, не будет проскальзывать в теле бетона и будет обеспечивать передачу требуемых усилий от бетона на стальные канаты и наоборот (напряжение от арматуры на бетон). Также благодаря своей волнистой (гофрированной) форме появляется возможность использования специальных соединительных муфт: они плотно навинчиваются на концы, которые требуется состыковать. При монтаже длинных каналов устраиваются трубки, которые выводятся на поверхность монолитной конструкции. Это сделано для отвода воздуха, находящегося внутри канала, при подаче раствора.

Напряжение стальных элементов производится так, чтобы создаваемые усилия сжатия равномерно увеличивались по всему сечению бетона. Для этого разрабатывается специальная программа напряжения, следуя которой производится поочередное натяжение в соответствии с прописанной проектом последовательностью. Преднапряжение следует выполнять ступенчато. После достижения полного усилия проектного напряжения концы стержней удерживают в специально отведенных местах, в которых будет располагаться их анкеровка, далее кожуховые каналы запрессовываются раствором, который обеспечивает защиту каната. Для того, чтобы выполнялись условия защиты стали, необходимо быстро выполнять все этапы натяжения и запрессовки. Также требуется контролировать, чтобы температура бетона конструкции была не ниже +5 °С. Запрессовка производится насосом, который подает под небольшим давлением раствор — через специальное отверстие он медленно и равномерно подается в «кожуховый канал». Запрессовка считается завершенной, как только раствор начинает выходить из трубок воздухоотведения на противоположном конце каналообразователя.

В предварительном напряжении стальной арматуры на бетон приняты две схемы:

1) со сцеплением пост-напряженного армирования с бетоном;

2) без сцепления с бетоном.

Каждая схема имеет свои преимущества и недостатки при применении на различных типах конструкций. Исходя из этого, инженеры выбирают для каждой конструкции подходящую схему.

1. Схема «со сцеплением с бетоном» — суть этой технологии заключается в том, что в железобетонной конструкции создается усилие сжатия вследствие напряжения стальной арматуры без специального покрытия, снабженной на концах анкерными приспособлениями. После прокладывания каната в кожуховые каналы подается безусадочный раствор. Схема устройства и расположения требуемых элементов для монтажа данной системы указана на рис. 3.

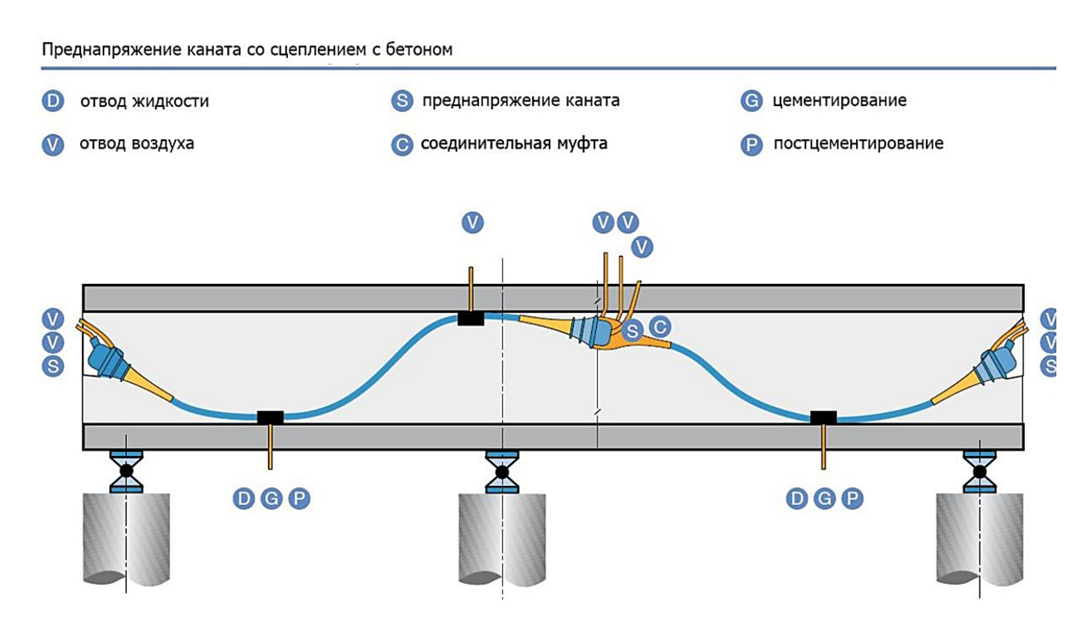


Рис. 3. Схема расположения требуемых элементов для монтажа технологии «со сцеплением с бетоном»[2]

Каналообразователи предназначены для формирования в железобетонной конструкции продольных и поперечных каналов (сквозных отверстий), в которые устанавливается высокопрочная арматура, подвергаемая натяжению. В дальнейшем гофрированный «кожуховый канал» будет обеспечивать требуемую защиту канатов и передачу усилий с канатов на бетон конструкции по всей длине каната [11].

В России эта технология используется при проектировании как мостовых конструкций, так и различных резервуаров и хранилищ. Например, компания ООО «СТС» выполнила проектную и рабочую документацию по обжатию стен силосных башен для хранения цемента в г. Сланцы в 2009 г. Была обеспечена поставка материалов и выполнение строительно-монтажных работ по технологии преднапряженного железобетона со сцеплением с бетоном (рис. 4).

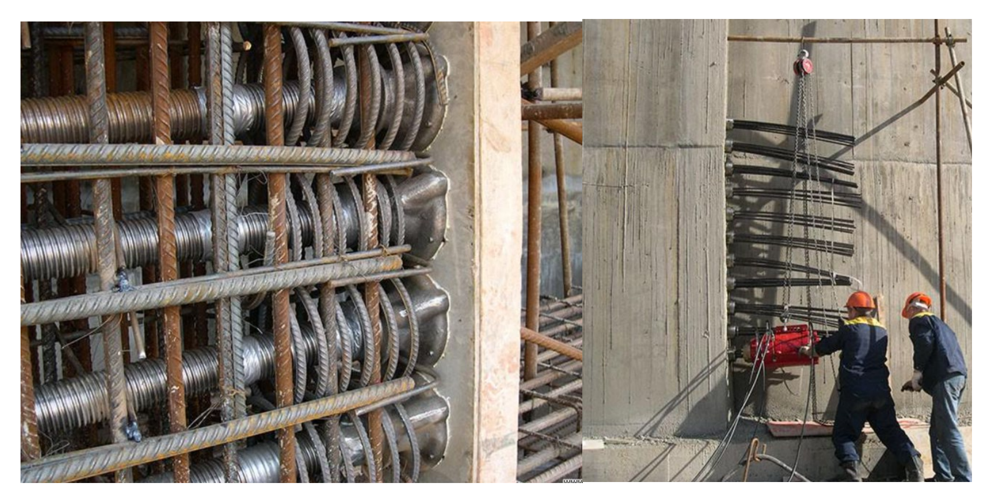


Рис. 4. Силосные хранилища цемента в г. Сланцы Ленинградской области[3]

2. Схема «без сцепления с бетоном» — эта система основана на создании в теле усилия сжатия за счет натяжения стального каната, покрытого непрерывной полимерной оболочкой. Каждая проволока стальной пряди

[2] Элементы систем преднапряжения со сцеплением / ПСК-Строитель // psk-stroitel.ru : [сайт]. URL: https://psk-stroitel.ru/tekhnologii/sistemy-predvaritelnogo-napryazheniya/so-stsepleniem.html (дата обращения : 20.02.2023)
[3] Силосные хранилища цемента в Сланцах / STS // sts-hydro.ru : [сайт]. URL: http://www.sts-hydro.ru/objects/silosa-slancy.html (дата обращения : 20.02.2023)

покрывается антикоррозионным и смазывающим составом, который обеспечивает защиту и правильную работу каната внутри оболочки. Раскладка такой системы осуществляется по заданной проектом траектории, которая описывает эпюру моментов конструкции. В данной технологии усилия натяжения от каната к конструкции (характерно для плит перекрытия) сообщаются через анкеры, установка которых производится на торцах конструкции. Анкеры подразделяют на две категории:

1) глухой анкер (закрепляют на торцах конструкции до бетонирования, при бетонировании замоноличивается вместе со всей конструкцией, после чего доступ к анкеру закрыт);

2) тяжной анкер (устанавливают после бетонирования и натяжения всего стального каната).

Внутри оболочки находится смазка, она позволяет уменьшить коэффициент трения каната о стенки оболочки. Защита каната такой оболочкой и смазкой позволяет защитить канат от воздействия агрессивной среды [13]. Схема расположения элементов указана на рис. 5.

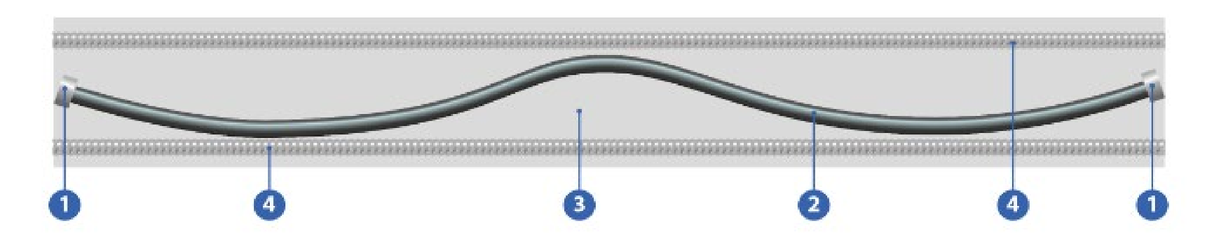


Рис. 5. Схема расположения требуемых элементов для монтажа технологии «без сцепления с бетоном»: 1) анкер; 2) канат в оболочке (мoнострeнд); 3) бетон; 4) ненапрягаемая арматура[4]

В России также применяется технология натяжения на бетон без сцепления с арматурой. Например, компания ООО «СТС» разработала проектную и рабочую документацию, произвела поставку материалов, монтаж и натяжение всех необходимых компонентов высокопрочной арматуры системы преднапряжения без сцепления с бетоном для аэропорта Домодедово (рис. 6).



Рис. 6. Здание международного грузового терминала аэропорта Домодедово[5]

В гражданском строительстве система преднапряжения без сцепления с бетоном получила более широкое распространение, чем система со сцеплением.

[4] Схема расположения требуемых элементов для монтажа технологии «без сцепления с бетоном» / ПСК-Строитель // psk-stroitel.ru : [сайт]. URL: https://psk-stroitel.ru/tekhnologii/sistemy-predvaritelnogo-napryazheniya/so-stsepleniem.html (дата обращения : 20.02.2023)

[5] Притерминальная развязка аэропорта Домодедово / STS // sts-hydro.ru : [сайт]. URL: http://www.sts-hydro.ru/objects/silosa-slancy.html (дата обращения : 20.02.2023)

Огнестойкость преднапряженных конструкций обеспечивается так же, как и для конструкций без напряжения, то есть регулированием толщины защитного слоя бетона. Когда производится расчет на огнестойкость пост-напряженной конструкции, следует учесть то, что напряженный канат в пролете находится выше ненапрягаемой арматуры, следовательно, защитный слой напрягаемой арматуры будет складываться из защитного слоя ненапрягаемой арматуры и самой ее величины. Еще учитывается положение самого стального элемента в кожуховом канале, например, как правило, напрягаемый элемент в середине пролета находится чуть выше оси оболочки канала, а на опоре находится ниже оси канала. Для напрягаемой арматуры без сцепления с бетоном добавляется еще один плюс к защите стали от огня — он заключается в том, что сама напрягаемая арматура находится в смазке, которая закипает при температуре 200 °C, и в оболочке (плотная пластмасса уменьшает температуру на границе соприкосновения самой оболочки с бетоном [14].

Чтобы упростить расчет на огнестойкость, американским институтом пост-напряжения PTI были разработаны специальные таблицы, которые рекомендуют величины требуемых защитных слоев при использовании пост-напряженного армирования (табл. 1).

Таблица 1

Рекомендации по толщинам перекрытий и защитных слоев бетона

Минимальные габариты	Расчетная продолжительность пожара, ч					
	0,5	1	1,5	2	3	4
Толщина перекрытия, мм	75	95	110	125	150	170
Защитный слой до ненапрягаемой арматуры, мм	20	20	25	35	45	55

Результаты исследования. Благодаря исследованию были получены знания истории возникновения технологии пост-напряжения, которая была запатентована в 1872 г. В последующие года многие инженеры стали следовать изучать эту технологию. В 1940 г. Eugene Freyssinet инженер из Франции продемонстрировал систему Freyssinet, которая используется по сей день. В России преднапряжение впервые использовал в 1936 г. В. В. Михайлов. Также мы узнали, что при производстве строительных работ с применением технологии наряженной арматуры используется бетон высокой прочности, высокопрочная арматура (трос), каналообразователи, специальный раствор и оборудование для выполнения натяжения. Выяснили, что существуют два метода предварительного напряжения с помощью стальной арматуры: 1) до заливки бетона (предварительное напряжение на упоры); 2) после заливки и набора бетоном прочности (пост-напряжение или предварительное напряжение на бетон). А в пост-напряжении существуют два способа натяжения: 1) со сцеплением каната с бетоном (чаще используется для напряжения в монолитных балках); 2) без сцепления каната с бетоном (имеет меньший диаметр каната по сравнению с первым вариантом, чаще используется для напряжения монолитных плит).

Обсуждения и заключение. В настоящей статье получены данные, которые описывают технологию предварительного напряжения стальной арматуры на бетон. Благодаря собранной информации были выделены преимущества и недостатки рассмотренной технологии.

Преимущества:

– уменьшается расход стали (используется арматура высокой прочности);

– повышается трещиностойкость конструкций;

– увеличивается жесткость, уменьшаются прогибы;

– повышается способность конструкции работать на выносливость, так как конструкция работает под воздействием многократно повторяющихся динамических нагрузок (от кранов, автотранспорта и т.п.);

– срок службы конструкции в агрессивных средах увеличивается, так как арматура меньше подвергается воздействию внешней среды;

– уменьшается расход бетона и снижается масса конструкций.

Недостатки:

– для выполнения работ по проектированию и монтажу конструкций по указанной технологии требуются высококвалифицированные кадры;

– увеличение стоимости строительства.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод. При использовании напряженной стальной арматуры можно использовать все положительные качества стали и бетона. Напрягаемый железобетон можно использовать для большепролетных конструкций — он более экономичный и высокопрочный, чем ненапрягаемый железобетон. Также повышенная трещинностойкость позволяет использовать преднапряженные конструкции в динамически нагруженных и агрессивных местах.

Пост-напряженное армирование используется в тех местах, где это является экономически эффективным, для зданий, где использование ненапряженного бетона и стали для обеспечения требуемой жесткости и прочности конструкции становится экономически невыгодным и нецелесообразным. Также ненапрягаемая конструкция тяжелее, чем напряженная, из-за этого на устройство фундамента требуется больше затрат. Так как у пост-напряженного армирования есть возможность увеличивать пролеты, то увеличивается объемно-планировочное внутреннее пространство, что позволит проектировать более свободные планировки.

Технология преднапряжения со сцеплением бетона с арматурой доказала свою эффективность при возведении массивных балочных конструкций и мостовых пролетов. В гражданских зданиях чаще применяется пост-напряжение без сцепления, в результате чего увеличивается пролет монолитных плит перекрытий и покрытий, а из-за меньшего сечения конструкций уменьшается вес здания.

Библиографический список

1. Aalami, B. O. Post-Tensioned Buildings: Design and Construction / Bijan O. Aalami — Adapt, 2014. — Pp. 400.

2. Кео, У. Исторические аспекты применения преднапряженного бетона в мировой и российской строительной индустрии / У. Кео, А. Н. Топилин // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». — 2019. — № 1. — DOI: 10.15862/12SATS119

3. Асатрян, Л. В. Преднапряженный железобетон, история, применение, перспективы развития / Л. В. Асатрян // Технологии бетонов. — 2008. — № 1. — С. 74–75.

4. Fernández-Ordóñez, D. Eugène Freyssinet : "I was born a builder" / D. Fernández-Ordóñez // Technische Universität Dresden. Conference : 28. Dresdner Brückenbausymposium. — Dresden. Germany, 2018. — № 1. — Pp. 14–23.

5. Jartoux, P. The work of Eugène Freyssinet : The Most Significant Bridges of his Career / P. Jartoux — 2011. — Pp. 12.

6. Espion, B. Thin concrete shells by Eugène Freyssinet / B. Espion // Building Knowledge, Constructing Histories. — Université Libre de Bruxelles, 2018. — № 1. — Pp. 199–206.

7. Post-tensioning Manual 6th edition. PTI. — 2006. — № 1. — Pp. 34–65.

8. Szydłowski, R. Post-Tensioned Concrete Long-Span Slabs in Projects of Modern Building Construction / R. Szydłowski, J. Łabuzek. // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. — Vol. 245 (2). — 2017. — № 1. — Pp. 37–64. — DOI: 10.1088/1757-899X/245/2/022065.

9. Кирильчук, И. Б. Монолитный предварительно напряженный железобетон: история, применение, предпосылки развития / И. Б. Кирильчук // Строительство и архитектура». — 20018. — № 1. — С. 53–97.

10. Кохно, В. О. Актуальность применения предварительно напряженных железобетонных конструкций в российском гражданском строительстве / В. О. Кохно. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 3 (398). — С. 29–32.

11. Ратц, Е. М. Анализ и оптимизация работ по предварительному напряжению железобетонных защитных оболочек АЭС / Е. М. Ратц, И. Н. Хряпченкова // Строительство и архитектура — 2017. — № 1. — С. 98–119.

12. Mailyan, D. R. Planning of multilayer cylindrical wall reservoirs / D. R. Mailyan, E. V. Trufanova // International Conference of Industrial Engineering. — 2016. — Vol. 150. — Pp. 1926–1935. — DOI https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.193.

14. Кузнецов, В. С. Прочность изгибаемых железобетонных элементов с дополнительной высокопрочной арматурой без сцепления с бетоном / В. С. Кузнецов, Ю. А. Шапошникова // Строительство и архитектура — 2016. — № 1. — С. 23–86.

15. Портаев, Д. В. / Расчет и конструирование монолитных преднапряженных конструкций гражданских зданий // Д. В. Портаев — Москва, 2011.

Поступила в редакцию 26.01.2022

Поступила после рецензирования 29.01.2022

Принята к публикации 02.02.2023

Об авторах:

Борисов Дионисий Игоревич — магистрант кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, borisovdionisij@gmail.com

Семенов Максим Викторович — магистрант кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, semnov.maksim@gmail.com

Письменсков Михаил Владимирович — магистрант кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, PismenskovM@yandex.ru

Аксенов Владимир Николаевич — доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID, Aksenov.v.n@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Д. И. Борисов — сбор и анализ научной информации, подготовка текста, формирование выводов; М. В. Семенов — анализ научной информации, редактирование текста; М. В. Письменсков – подготовка научных материалов, редактирование текста; В. Н. Аксенов — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство, корректировка выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.





УДК 69.05
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-22-33

Научная статья



Организационно-техническое решение современного строительства в Китае

К. М. Крюков ✉, **Ли Синь**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ kkrioukov@gmail.com

Аннотация

Введение. Тенденции развития строительной отрасли направлены на растущую долю уникальных зданий и сооружений. Однако организационно-технические решения по реализации таких проектов становятся проблемой в связи с отсутствием опыта строительства таких объектов. Данная ситуация приводит к проблемам, связанным с нарушением сроков строительства, увеличением стоимости проекта, снижению качества выполняемых работ. Целью данного исследования являлось изучение опыта современного строительства в Китайской народной республике на примере возведения уникального мостового сооружения.

Материалы и методы. В исследовании использовались методы анализа представляемой информации при изучении организации строительства несущей части мостового сооружения. Были выделены ключевые моменты, влияющие на эффективность и качество строительства.

Результаты исследования. В результате проведенных исследований было определено, что при строительстве уникальных объектов первоначальное внимание необходимо уделять подготовке строительства, включая и рассмотрение возможности дополнительного финансирования. Использование проектного подхода к реализации сложных инвестиционно-строительных проектов является обязательным условием успешного завершения строительства. Внедрение системы недельно-суточного планирования позволяет контролировать и своевременно предпринимать действия по ликвидации возникающих проблем в ходе строительства. Подготовка и переподготовка управленческого персонала и специалистов позволяют принимать квалифицированные решения по мере реализации проекта.

Обсуждение и заключения. Данное исследование имеет не только теоретическую, но и практическую значимость. Методы и технические решения, принятые при строительстве уникального мостового сооружения в Китае, могут быть использованы и в других регионах КНР, и в Российской Федерации. Данные подходы помогут успешно реализовывать сложные инвестиционно-строительные проекты – с надлежащим качеством, в заданные сроки и в рамках установленного бюджета.

Ключевые слова: организационно-технические решения, коробчатая балка, инвестиционно-строительный проект.

Для цитирования. Крюков К. М. Организационно-техническое решение современного строительства в Китае / К. М. Крюков, Ли Синь // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2023. — Т. 2, № 1. — С. 22–33. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-22-33

Original article

Managerial and Engineering Solutions in the Contemporary Construction of China

Konstantin M. Kryukov ✉, **Lee Xin**

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ kkrioukov@gmail.com

Abstract

Introduction. The construction industry trends are developing towards the growth of the share of unique buildings and structures. However finding the managerial and engineering solutions for implementation of such projects becomes a

problem due to the lack of experience in construction of such facilities. This situation leads to the problems caused by the breach of the construction deadlines, increase of the project cost and deterioration of the quality of performed works. The purpose of this research was to study the contemporary construction experience of the People's Republic of China taking construction of a unique bridge structure as an example.

Materials and Methods. The analysis methods were used in the research to analyse the information obtained in the frame of studying the organisation of construction of the bridge structure load-bearing part. Key points affecting the efficiency and quality of construction were highlighted.

Results. As a result of the research it was determined that in construction of the unique facilities the primary attention should be paid to the construction preparation stage, including consideration of possibility of additional funding. The implementation of the project-based approach to the development of complex investment and construction projects is a prerequisite for the successful completion of construction. The introduction of a weekly-daily planning system allows monitoring and taking timely actions to eliminate the problems arising during construction. Training and retraining of management personnel and specialists allow making qualified decisions as the project progresses.

Discussion and Conclusions. This study has not only theoretical but also practical significance. The methods and technical solutions accepted in construction of a unique bridge structure in China can be used in other regions of the PRC and in the Russian Federation. These approaches will help to successfully implement the complex investment and construction projects with proper quality, in due time and within the allocated budget.

Keywords: managerial and engineering solutions, box beam, investment and construction project.

For citation. K. M. Kryukov, Lee Xin. Managerial and Engineering Solutions in the Contemporary Construction of China. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2023, vol. 1, no. 1, pp. 22–33. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-22-33

Введение. В современных условиях быстрого социально-экономического развития, крупные инвестиционно-строительные проекты играют ключевую роль в развитии строительной отрасли. Для обеспечения того, чтобы строительные проекты могли получить максимальную экономическую выгоду и содействовать социальному развитию, необходимо полагаться на технические решения по организации строительства, внедрять современное управление строительством, постоянно содействовать росту эффективности и качества управления строительством [1]. Исследование передового мирового опыта, внедрение в свою деятельность передовых решений в области организации и управления строительством являются необходимым условием выживания строительного предприятия. Поэтому необходимо изучать современные и инновационные инженерные решения в области организации строительства, чтобы способствовать развитию и успешной деятельности строительных предприятий в условиях конкуренции. В статье исследуется применение технических решений организации строительства в современном строительстве Китая на примере строительства уникального моста.

Материалы и методы. Мост Циндао-Бей — на момент ввода в эксплуатацию самый длинный в мире мост через водные пространства, спроектированный и построенный в Китае, общая длина которого достигла 41 километра, и является первым в мире мостом через море с инвестициями в 10 миллиардов долларов. Продолжительность строительства составила четыре года. Мост Циндао-Бей стал важным транспортным узлом в экономической зоне полуострова Шаньдун и в стратегии городского развития города Циндао [2].

В статье рассматривается организация работ при строительстве отдельных частей моста, монтируемых над несудоходной частью пролива. Все строительство моста было разделено на 12 контрактов, выполняемых различными строительно-монтажными организациями. В исследовании рассматривается двенадцатый контракт на строительство моста через залив Цзяочжоу в Циндао (рис. 1). Цена контракта составила более 1 миллиарда юаней.



Рис. 1. Схема расположения проекта строительства моста

В соответствии с контрактом были выполнены работы по сборке и монтажу 60-метровой коробчатой балки моста на опоры над несудоходной частью пролива. Общая длина монтируемых конструкций — 11280 м. Всего было изготовлено и смонтировано 376 составных балок пролетов, каждая из которых весила около 2000 тонн [3].

При строительстве мостов важную роль играет географическое расположение объекта и окружающая среда, которые влияют не только на проектные и конструктивные характеристики объекта строительства, но и на организацию работ по возведению конструкций моста. В соответствии с метеорологическими данными в регионе среднегодовая температура составляет 12,3 °C. Средняя температура в январе –9 °C; в августе средняя температура составляет 25,3 °C. Среднегодовое количество осадков составляет 680,5 мм, при этом наибольшее количество осадков происходит в течение июля – августа, а среднее количество осадков за эти два месяца 303,1 мм, что составляет 45 % от общего количества осадков за весь год.

Место проекта характеризуется регулярными приливами и отливами, что вносит определенные особенности при производстве работ. Характерные значения приливов показаны в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики приливов

Значения приливных характеристик	**Порт Циндао (статистика)**
Средний уровень моря (м)	0
Самый высокий прилив (м)	3,09
Минимальный уровень отлива (м)	–3,12
Средний уровень прилива (м)	1,39
Средний уровень отлива (м)	–1,40
Средняя приливная разница (м)	2,78
Максимальная приливная разница (м)	4,75
Средняя продолжительность прилива (м)	5 часов 39 минут
Средняя продолжительность отлива (м)	6 часов 46 минут

В целях эффективной организации строительных работ был использован проектный подход к реализации инвестиционно-строительного проекта по строительству конструкций моста. Был назначен руководитель проекта, ответственный за реализацию всех работ по контракту. Организационная структура управления строительством показана на рис. 2 [4].

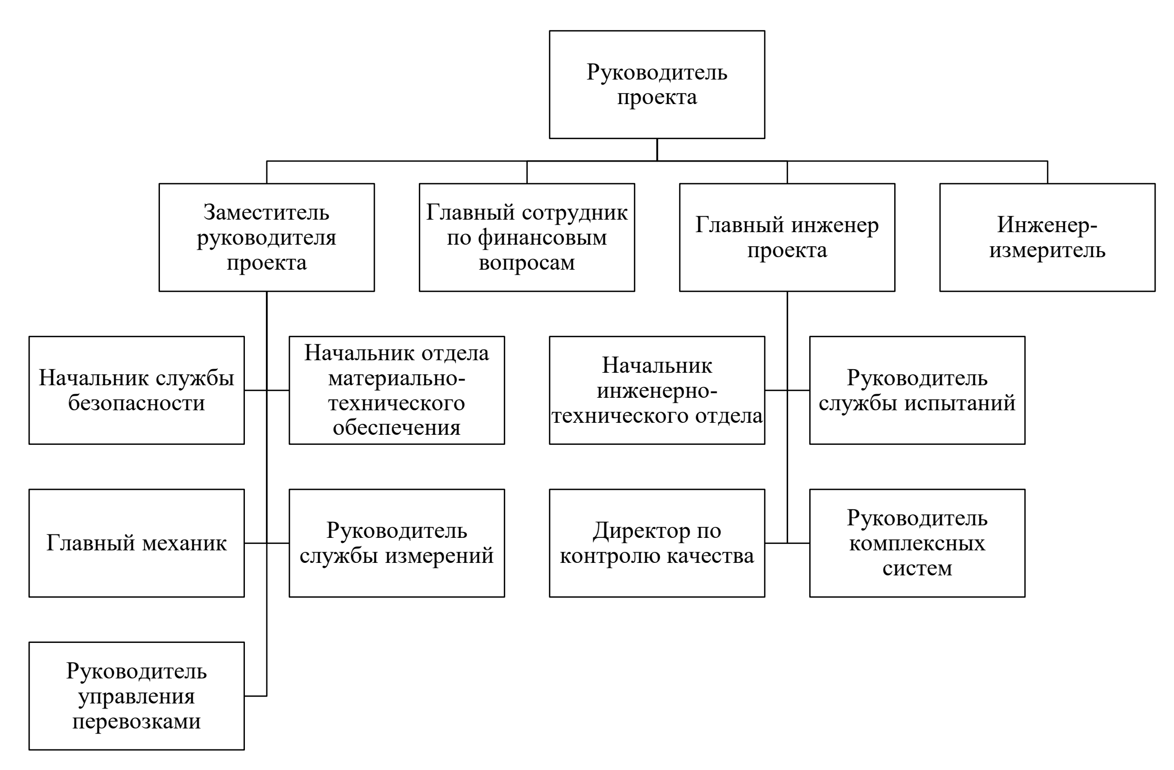


Рис. 1. Организационная структура управления строительством

При организации работ по устройству пролетов моста были выделены четыре участка. Количество монтируемых балок и протяженность участков приведены в таблице 2. Обозначения начальных и конечных этапов приняты по проектной нумерации.

Таблица 2

Количество пролетов и балок по участкам

Номер участка	Начальная и конечная точка по чертежу	Длина (м)	Количество пролетов	Количество балок
1	K12 + 830 ~ K14 + 150 (правый)	1320	22	22
	K12 + 830 ~ K14 + 030 (левый)	1200	20	20
2	K14 + 390 ~ K15 + 530 (правый)	1140	19	19
	K14 + 330 ~ K15 + 770 (левый)	1440	24	24
3	K15 + 830 ~ K22 + 190 (правый)	6360	106	106
	K16 + 010 ~ K22 + 190 (левый)	6180	103	103
4	K22 + 430 ~ K24 + 890 (левый, правый)	2460	41	82
итог		11280		376

В соответствии с проектом планируется монтаж сборных железобетонных коробчатых балок длиной 60 м на опоры. В целях сокращения сроков строительства и повышения качества производства работ было принято решение о производстве пролетов в непосредственной близости от мест монтажа. Для этого был организован терминал для изготовления сборных балок на берегу моря. Общая схема организации работ может быть представлена следующим образом: по предварительно подготовленным формам изготавливается балка. После набора прочности с помощью двух козловых кранов грузоподъемностью 1200 т балка перемещается на транспортную баржу 3300 т. С помощью буксировочных катеров баржа транспортирует балку к месту установки. Кранами на барже 2600 т балка монтируется на место установки и закрепляется [5]. При монтаже учитывались особенности гидрогеологических условий — монтаж осуществлялся при приливе с требуемым уровнем глубины.

Общий организационно-технологический процесс строительства показан на рис. 3.

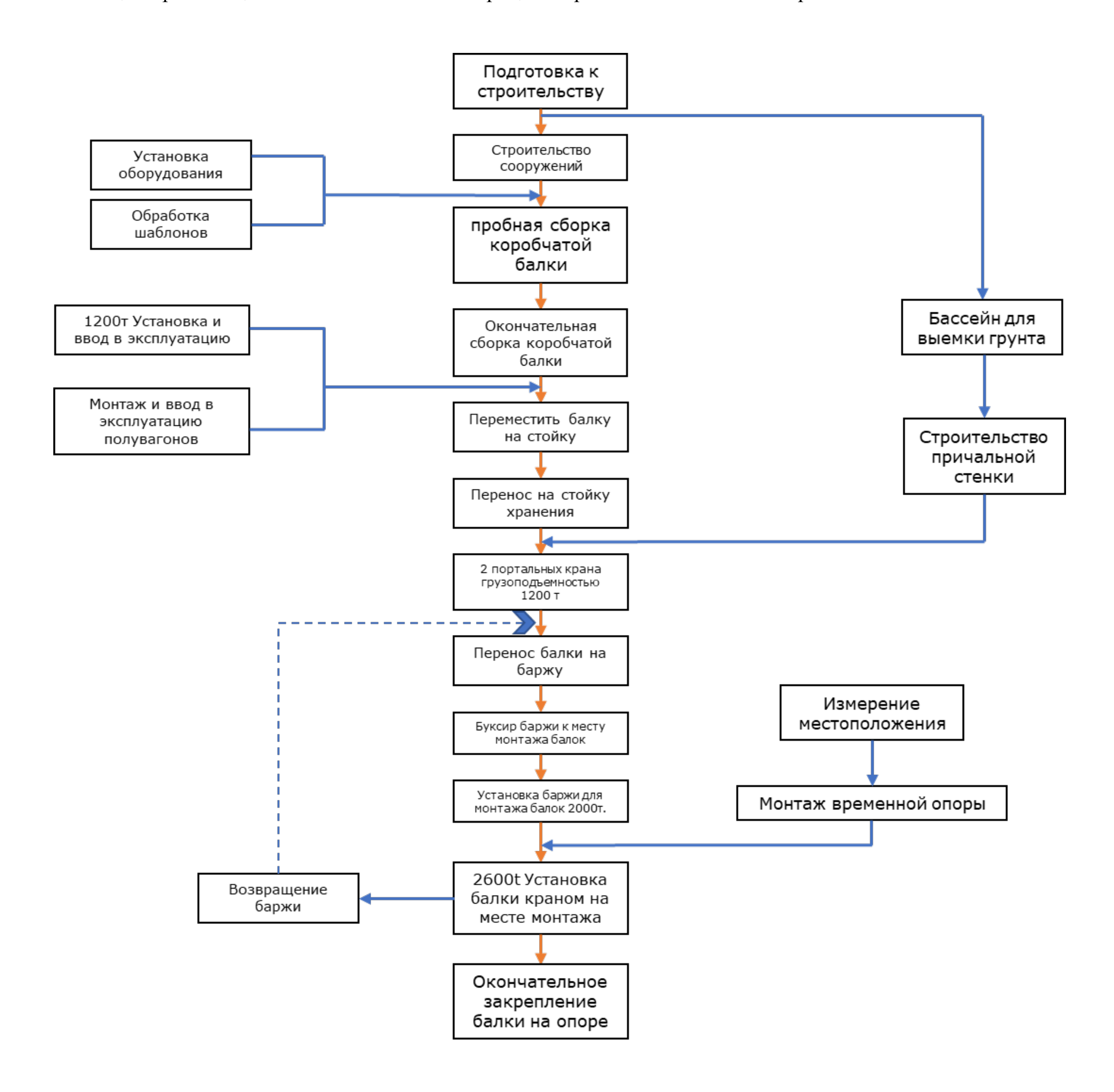


Рис. 3. Общая схема процесса строительства

Основные характеристики коробчатой балки. В этом проекте 60-метровая коробчатая балка использует однокамерное сечение, ширина коробчатой балки 17,0 м, ширина основания 6,6 м, высота балки 3,5 м. Каждая консоль с обеих сторон балки коробки 4,1 м, толщина консольного конца 22 см, толщина консоли в основании 55 см. В верхней полой части чистый пролет 7,2 м, толщина верха вдоль моста к середине пролета составляет 30 см, а верхняя часть утолщена до 55 см. Толщина основания коробчатой балки в пролете составляет 25 см, местное утолщение до 40 см вблизи обеих сторон опоры среднего причала, частичное утолщение до 65 см вблизи опоры бокового причала и 80 см на вершине опоры среднего причала. Стенка коробчатой балки спроектирована наклонной со средней толщиной 45 см, вблизи точки опирания предусмотрено увеличение до 70 см. Масса сборных балок среднего и бокового пролетов составляет соответственно 1970 т и 2000 т [6]. Поперечное сечение коробчатой балки показано на рис. 4.

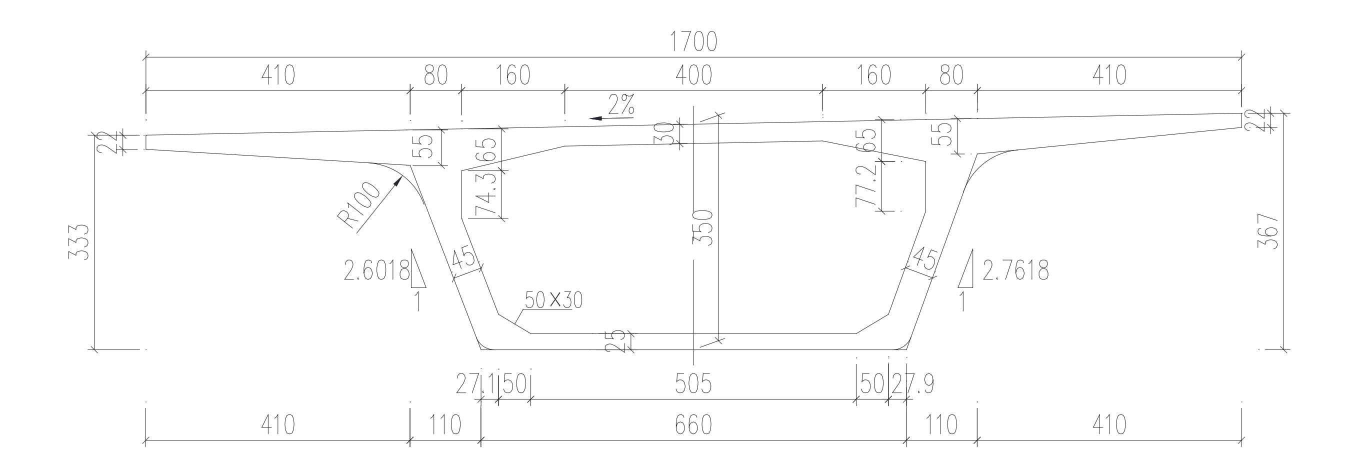


Рис. 4. Поперечное сечение коробчатой балки

Технологический процесс сборки коробчатых балок, их транспортирования и монтажа на опоры показан на рис. 5–8.

Обработка арматуры для донных стенок

Изготовление стальных решеток

Установка нижних сильфонов

Очистка нижних модулей, сборка наружных боковых модулей

Подвеска, арматурный штамп

Подъем, настройка модуля в целом

арматура кровли

Изготовление кровли

Монтаж сильфона кровли

Подъем арматуры кровли

доводка внутреннего модуля

уплотняющий штамп

Производство и транспортировка бетона

Бетонная заливка

Содержание бетона

Сосновый модуль, распавшийся на сегменты, секции, перетаскиваемые на стол шаблона

Снять внешний (концевой) штамп, переместить на следующую базу

предварительное продольное натяжение

Прочность бетона ≥ 90% проектная прочность

Окончательное натяжение при продольном предварительном напряжении

Переместить балку коробки поперечно на стол хранения

Период естественного сохранения балочного бетона

Достижение проектной прочности

поперечное предварительное натяжение

Канальный вакуумный пресс

якорь с торцевой головкой

Ожидание отправки, установка

Рис. 2. Процессы сборки балок



Рис. 3. Изготовление коробчатых балок на производственном участке вблизи моря[1]

Схема транспортирования и монтажа коробчатых балок представлена на рис. 7.

перегрузочная баржа для вывоза балок сборных коробок → Укрепление коробчатой балки → балка транспортера → Баллоновая баржа, работающая на 2000т

2600t Расположение крана на якоре → 2000t Трудоустройство судна. → Баллоновая баржа, работающая на 2000т

Строительные леса и строительные площадки → Пробы для измерения верхней части опоры → Установка временных опор → Грузовой кран переносится на балочную баржу, сбрасывает кран, соединяет стропы, завершает подготовку к подъему.

Баллоновая баржа, работающая на 2000т
↓
Грузовой кран переносится на балочную баржу, сбрасывает кран, соединяет стропы, завершает подготовку к подъему.
↓
Измеряйте глубину воды, при выполнении требований балка подъемного ящика, позиционирование судна, чтобы балка ящика находилась на временной опоре
↓
Точное положение балки
↓
Установка постоянной опоры
↓
Строительство мокрых соединений
↓
предварительное натяжение при закрывании пучка
↓
ПУ вакуумный прессованный раствор, якорь
↓
Демонтаж временной опоры, закрепление постоянной опоры, завершение преобразования системы

Рис. 4. Блок-схема поставки и монтажа балок

[1] Construction drawing of box girder of Qingdao Bay Bridge // Baidu : [сайт]. 2023. URL: https://clck.ru/33YRGm



Рис. 8. Установка коробчатых балок моста[2]

В соответствии с контрактом, был разработан календарный план строительства (рис. 9). В соответствии с планом предусмотрено параллельное производство работ по изготовлению коробчатых балок и их монтажу в проектное положение [7]. Общий срок производства работ по контракту составил 2 года.



Название проекта: Календарный план строительства моста Залив

номер	Название проекта	Время начала	Время завершения
1	Пробно - сборная балка	2007. 11. 1	2007. 12. 1
2	Строительство временного прич ала	2007. 11. 1	2007. 1. 31
3	Строительство сборных сооруже ний	2007. 11. 1	2007. 1. 31
4	Установка и ввод в эксплуатацию козлового крана	2007. 12. 30	2008. 2. 15
7	балка производственного ящика	2007. 12. 1	2009. 10. 30
5	Установка коробчатой балки	2008. 5. 30	2009. 10. 30
6	Соединение мостов	2008. 7. 1	2009. 12. 31

Рис. 5. Календарный план производства работ по проекту (рисунок авторов)

На основании календарного плана была рассчитана потребность в трудовых и материальных ресурсах, машинах и оборудовании. На рис. 10 приведена потребность в управленческом персонале команды по периодам реализации проекта [10].

[2] Arch Hoje: Arch Curiosidades- Maior ponte sobre a água do mundo // ARCH Search : [сайт]. 2023. URL: https://www.archsearch.com.br/post/2015/10/19/arch-hoje-arch-curiosidades-maior-ponte-sobre-a-%C3%A1gua-do-mundo

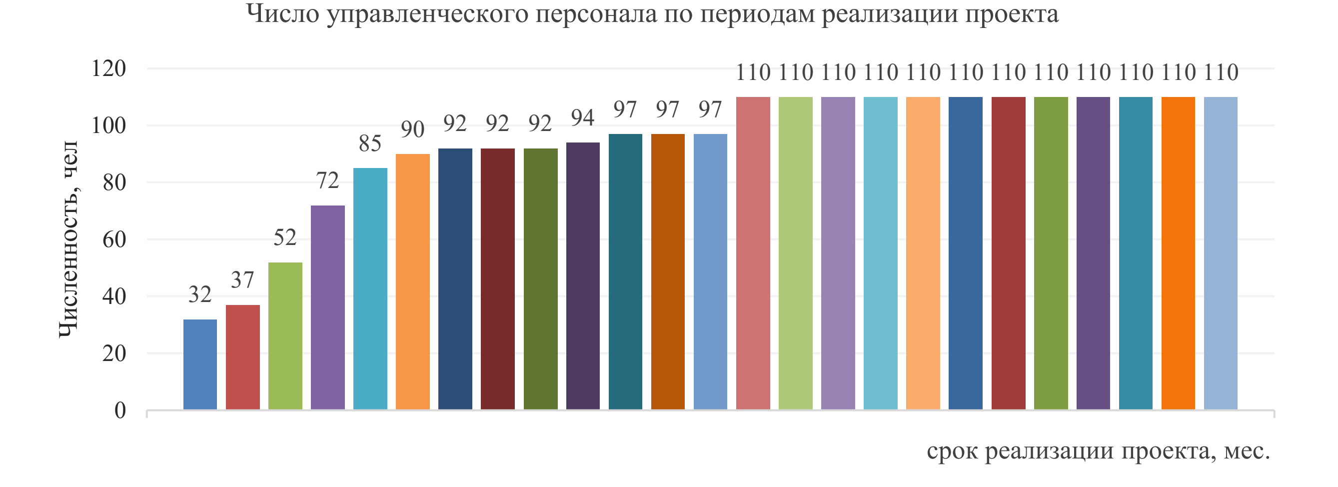


Рис. 10. Диаграмма потребности в управленческом персонале (рисунок авторов)

При подборе персонала специалисты и руководители проходили оценку управленческих и организационных возможностей, чтобы гарантировать качество строительства и безопасность работ. Еженедельно проводились совещания с акцентом на безопасность производства работ.

При разработке программы механизации изготовления и монтажа балок были определены машины и оборудование, которые будут приобретаться на условиях долгосрочной или краткосрочной аренды, а также за счет собственных средств организации по договору купли-продажи. На особый контроль был поставлен учет горюче-смазочных материалов путем регулярного оформления соответствующих документов. Особую задачу необходимо было решить по поиску техники большой грузоподъемности. К таким механизмам можно отнести козловые краны грузоподъемностью 1200 т, тележки-полувагоны для перемещения сборных коробчатых балок 1200 т и др. Производство было достаточно энергоемкое, поэтому были предусмотрены создание на месте генераторных установок внутреннего сгорания мощностью 400 кВт и 200 кВт.

Поскольку планировалось использовать значительное количество бетона для изготовления на месте коробчатых балок, было решено создать собственный бетонорастворный узел на площадке изготовления балок. Так как для качественного изготовления бетонной смеси необходим песок с определенными характеристиками, то были найдены поставщики и заключены контракты [9]. Для снятия рисков непоставки по каким-либо причинам контракты были заключены с несколькими поставщиками. Было установлено, что в соответствии с разработанным планом закупок, срочно необходимые материалы должны быть заявлены в отдел материально-технического снабжения как минимум за неделю до закупки. Общее количество основных материалов составило: цемент — 106 тыс. т, щебень — 350 тыс. т, песок — 239 тыс. т, арматура различных диаметров и классов — 80 тыс. т.

Строительство моста производилось с двух разных сторон, и в результате произошла состыковка. Поэтому очень важным условием для качественного производства работ являлся геодезический контроль за ходом выполнения работ. В команде проект-менеджера была выделена отдельная группа с подчиненностью непосредственно руководителю проекта по контролю за измерениями [10]. Инженер-геодезист отвечает за проверку результатов измерений и расчетов на месте. Измерительные работы, контролировались представителями заказчика, инженера по надзору с подписанием соответствующих документов. После каждого измерения все измеренные данные передавались на рассмотрение инженеру-контролеру в течение установленного срока.

Строительные организации, осуществляющие производство работ, прошли соответствующий отбор по критериям обладания техническими возможностями, профессиональными строительными машинами и оборудованием, а также богатым опытом строительства. Требования предъявлялись к материально-техническим ресурсам (персоналу, материалам, основным машинам и оборудованию) с точки зрения доступности и готовности к оперативному использованию. Например, требования к материальным ресурсам по транспортировке — не более 500 км.

Для обеспечения продолжительности строительства, закрепленной в контракте, необходимо наличие достаточных компетенций для управления и координации строительных работ. Успешный опыт координации и организации строительства позволил обеспечить темпы строительства [11].

Отсутствие проблем со стороны финансирования и стабильное финансовое положение строительных организаций позволило своевременно покрывать часть ликвидных средств, необходимых для строительства.

Сложность проекта предопределяет необходимость создания комплекса мероприятий по охране труда и технике безопасности на строительной площадке, разработать план аварийного спасения, устранить возможности возникновения крупных аварий и обеспечить бесперебойную реализацию проекта [12]. В результате всех реализованных мер по организации безопасного производства коробчатых балок и их монтажа по окончании строительства несчастные случаи со смертельным исходом отсутствовали, число серьезных несчастных случаев составило 0,5 промилле, число мелких травм — 5 промилле. Крупные потери, аварии с большой степенью ответственности на море — 0.

Результаты исследования. Анализируя принимаемые мероприятия в процессе реализации проекта можно отметить основные меры, принятые по обеспечению качественного выполнения проекта.

На подготовительном этапе реализации проекта была осуществлена детальная техническая подготовка персонала, изучение техническим персоналом строительных чертежей, объемов работ, технических спецификаций, стандартов контроля качества, документов, касающихся безопасности и охраны окружающей среды, инновационной технологии производства работ для повышения эффективности строительства, чтобы избежать серьезных изменений в период строительства и влияния на срок строительства.

При укомплектование кадрами, внимание уделялось подготовке персонала, подбору опытных руководителей проектов, высококвалифицированных специалистов высшего и среднего звена, рабочих – операторов, с целью сформировать сильный отдел управления проектами. Была сформирована консультативная группа экспертов из известных отечественных специалистов по мостам и гидротехнике, которая отвечала за руководство научными исследованиями по основным техническим вопросам проекта.

Чтобы избежать рисков, связанных с задержками в течение подготовительного периода и, связанными с этим дальнейшими задержками в работе, были увеличены первоначальные инвестиции на подготовительные работы.

Особое внимание уделялось управлению строительством в соответствии с планом, чтобы обеспечить сроки выполнения ключевых процессов и строительства в целом. Проект данного масштаба практически не может осуществляться без каких-либо сбоев в работе. Поэтому акцент при планировании заключался в оптимизации программы строительства для ключевых процессов и оказание технической поддержки для обеспечения сроков строительства. Отдел управления проектом проводил ежедневные совещания по планированию производства, подведением итогов дня и организации работ на следующий день с тем, чтобы запаздывающая работа была выполнена на следующий день, чтобы предотвратить задержку. Каждую неделю проводились производственные координационные совещания для подведения итогов строительных и производственных работ за предыдущую неделю и

организации работы на следующую неделю. Таким образом осуществлялось недельно-суточное планирование реализации проекта.

Поскольку работа носила повторяющийся характер при изготовлении и монтаже практически одинаковых 376 балок пролетов, то регулярно анализировалась технология выполнения работ, чтобы в дальнейшем повысить эффективность.

Проведение постоянных координационных совещаний с целью согласования работы с заказчиками, подрядчиками, проектными и надзорными подразделениями, позволило своевременно устранять помехи в строительстве и технические проблемы, возникающие в ходе строительства, во избежание ненужных задержек.

Внедрение методов поощрения работников позволило повысить производительность и ускорить ход работ.

Чтобы избежать задержек в выполнении работ, вызванных остановками и переделками из-за проблем с безопасностью и качеством, была разработана система контроля за безопасностью и качеством.

Обсуждение и заключения. Технические решения для организации современного строительства должны в первую очередь подчеркнуть строгий контроль деталей. Инвестиционно-строительный проект является сложным с длительным периодом строительства. Для того, чтобы качественно его реализовать, прежде всего, перед строительством необходимо уделить особое внимание проектированию организации строительства. Для это необходимо сделать следующее:

Во-первых, уточнить требования, предъявляемые к строительству в проекте организации строительства — провести анализ и исследование характеристик и условий, окружающей среды и т. д.

Во-вторых, уточнить план строительства, полностью развернуть задачи строительства, оптимизировать технологическую последовательность строительства, проанализировать возможный план строительства, чтобы определить оптимальный вариант.

В-третьих, график оптимального плана строительства отражается в плане графика строительства, и на основе плана графика составляется график работы рабочей силы, план потребностей в материально-технических ресурсах и план подготовки к строительству.

В-четвертых, в соответствии с планом строительства организовать строительную площадку с использованием современных технологий.

В-пятых, руководство и специалисты, отвечающие за проект должны постоянно адаптироваться к новым ситуациям, новым изменениям, постоянно изучать инновационные методы управления и только в этом случае они становятся сильной командой, которая ведет сможет успешно и эффективно реализовывать инвестиционно-строительные проекты.

Библиографический список

1. Zhuang Miao. Common problems and countermeasures of construction organization design // Zhengzhou University, 2013.
2. Qingdao Bay Bridge Project Management Information System Demonstration Project. Ministry of Housing and Urban-Rural Development Science and Technology Project. — 2009. — Pp. 5–9.
3. Yu Xudong. Brief Analysis of Highway and Bridge Construction Organization Design and Construction Management // Science and Technology Innovation and Application. — 2012. — 4.
4. Wang Xiaolong. Preliminary Study on Construction Organization Design and Construction Management of Highway and Bridge // Science and Technology and Enterprise. — 2013. — 11.
5. Yu Xudong. Brief Analysis of Highway and Bridge Construction Organization Design and Construction Management // Science and Technology Innovation and Application. — 2012. — 4.

6. Yang Jun, Wang Biyun. Quality control measures for cement concrete pavement of bridges and tunnels [J] // Southwest Highway. — 2011. — 4. — Pp. 94–97.

7. Research and application of 4D construction management system for construction engineering based on IFC standards, Huaxia, the first prize of construction technology in 2009.

8. Wang Xiaolong. Preliminary Study on Construction Organization Design and Construction Management of Highway and Bridge [J] // Science and Technology and Enterprise. — 2013. — 11.

9. Yang Jun, Wang Biyun. Quality control measures for cement concrete pavement of bridges and tunnels [J] // Southwest Highway. — 2011. — 4. — Pp. 94–97.

10. Xu Zhangjie, Chen Jian. Quality control of bridge construction projects [J] // Technology and Market. — 2010. — 12. — Pp. 22–28.

11. Ao Xiang. Talking about highway and bridge construction management and risk [J] // Doors and windows. — 2013. — 7. — Pp. 42–48.

12. Ji Xiaowei. Talking about the construction organization design of highway bridges [J] // China New Technology and New Products. — 2012. — 13.

Поступила в редакцию 20.01.2022

Поступила после рецензирования 22.01.2022

Принята к публикации 02.02.2023

Об авторах:

Крюков Константин Михайлович — заведующий кафедрой «Инжиниринговое управление в строительстве» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат экономических наук, доцент, ORCID, ScopusID, kkrioukov@gmail.com.

Ли Синь — магистрант кафедры «Организация строительства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), 973486286@qq.com.

Заявленный вклад соавторов:

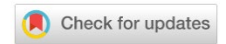
К. М. Крюков — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство, доработка текста, формирование выводов. Ли Синь — исследование по теме работы, проведение расчетов, подготовка текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.





УДК 69.05
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-34-43

Научная статья



Исследование ветровых нагрузок на отдельно стоящие и близкорасположенные гиперболоидные градирни

В. В. Дутов ✉, **А. С. Чепурненко**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ vlad553188@gmail.com

Аннотация

Введение. Строительство градирен было и остается актуальным в современном мире. Распространение башенных градирен необходимо для энергетической промышленности. Проблема заключается в допустимом расположении совокупности градирен гиперболоидного типа на одном объекте топливно-энергетического комплекса. Цель представленной работы — исследование распределения ветрового давления на градирню в форме однополостного гиперболоида вращения, а также взаимного влияния близко расположенных градирен. В рамках поставленной цели решаются следующие задачи: построение конечно-элементных моделей отдельно стоящего и нескольких близко расположенных сооружений, анализ изополей ветрового давления на различных отметках и сопоставление результатов с положениями действующих норм.

Материалы и методы. Объект исследования — башни гиперболоидного типа, общая высота которых составляет 53,3 м. Анализ выполняется при помощи трехмерного конечно-элементного моделирования в модуле CFX верифицированного программного комплекса ANSYS. Используется модель турбулентности — k-epsilon. Скорость ветра в качестве упрощения принимается постоянной по высоте сооружения. Оболочки в форме однополостного гиперболоида задаются параметрическим уравнением совместно с воздушным пространством, которое моделируется объемными конечными элементами в форме тетраэдров. Поверхность оболочек принимается идеально гладкой. Помимо конечно-элементного анализа выполнен расчет на коэффициент помех по действующим нормам для железобетонных градирен.

Результаты исследования. Получены результаты по распределению ветрового давления на отдельно стоящие и близкорасположенные градирни. Приведены изополя ветрового давления на различных отметках при различном расположении башенных сооружений.

Обсуждение и заключения. В результате сопоставления полученных результатов с действующим СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» и СП 340.1325800.2017 «Конструкции железобетонные и бетонные градирен. Правила проектирования» выявлено, что распределение ветрового давления по окружности зависит от высоты, что не учитывается в нормативной документации. Произведен анализ взаимного влияния близко расположенных башенных градирен, и показано, что в действующих нормах сильно завышается коэффициент помех.

Ключевые слова: градирня, однополостной гиперболоид вращения, помехи, ветровое давление, турбулентность, метод конечных элементов.

Для цитирования: Дутов, В. В. Исследование ветровых нагрузок на отдельно стоящие и близкорасположенные гиперболоидные градирни / В. В. Дутов, А. С. Чепурненко // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2023. — Т. 2, № 1. — С. 34–43. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-34-43.

Original article

Study of Wind Loads on Free-Standing and Closely Spaced Hyperbolic Cooling Towers

Vladislav V. Dutov ✉, **Anton S. Chepurnenko**

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ vlad553188@gmail.com

Abstract

Introduction. The construction of cooling towers has always been and remains a pressing issue in today's world. Wide spreading of cooling towers is necessary for power industry. The problem lies in the allowable location of a set of hyperbolic cooling towers at a premises of a single fuel-and-energy facility. The aim of the present study is to investigate the wind pressure distribution on a cooling tower having the shape of a single-cavity hyperboloid of rotation and the cross-interference of the closely spaced cooling towers. To achieve the set forth aim the following objectives are being solved: the finite-element modeling of a free-standing and several closely spaced structures, the analysis of the wind pressure isofields at different elevations and the comparison of the results with the currently valid standards.

Materials and methods. The object of the study is the hyperboloid type cooling towers of total height 53.3 m. The analysis is carried out with the help of the three-dimensional finite-element modeling in the CFX module of the verified ANSYS software package. The k-epsilon turbulence model is used. For simplification, the wind speed is assumed constant along the structure's height. The shells in the shape of a single-cavity hyperboloid including the airspace are specified by a parametric equation, which is modeled by using the solid finite elements in the form of tetrahedrons. The surface of the shells is assumed to be perfectly smooth. Besides finite-element analysis, the calculation of the interference factor is made according to the standards currently valid for reinforced concrete cooling towers.

Results. The results of wind pressure distribution on free-standing and closely spaced cooling towers were obtained. The data on the wind pressure isofields at various elevations at various locations of tower structures was given.

Discussion and conclusions. Upon comparing the obtained results with the currently valid SP 20.13330.2016 «Loads and actions» and SP 340.1325800.2017 «Reinforced concrete and concrete structures of cooling towers. Design rules» it was found that the distribution of wind pressure along circumference depends on the height, which had not been taken into account in the regulatory documentation. The analysis of cross-interference of the closely spaced cooling towers was carried out and it was demonstrated that in the currently valid standards the interference factor had been greatly overestimated.

Key words: cooling tower, single-cavity hyperboloid of rotation, interference, wind pressure, turbulence, finite element method.

For citation. V. V. Dutov, A. S. Chepurnenko. Study of Wind Loads on Free-Standing and Closely Spaced Hyperbolic Cooling Towers. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2023, vol. 2, no. 1, pp. 34–43. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-34-43.

Введение. Башенные градирни — это теплообменные аппараты для отвода тепловой нагрузки в атмосферу. Тонкостенные оболочки железобетонных градирен настроены на охлаждение большого объема жидкости до необходимой температуры (перепад температур составляет 5-10 °С). Градирня представляет собой установку из железобетона или металла, имеющую форму усеченного конуса или гиперболоида вращения. Воздушная тяга создается естественным образом без использования дополнительного энергоемкого оборудования [1]. Другое название для башенной градирни — «мокрые» или испарительные градирни, в которых вода находится в прямом контакте с воздухом. Высота, размер и форма варьируются в зависимости

от требуемой производительности и климатических условий. В общемировой строительной практике обширно используются конструкции в виде однополостного гиперболоида вращения [2]. Основной сферой использования таких форм является промышленное строительство. Пример поверхности однополостного гиперболоида вращения можно наблюдать в очертаниях вытяжных башен градирен, водонапорных и радиотрансляционных башен, опор линий электропередач [3]. Успешное применение гиперболических оболочек вращения в строительстве обусловлено спецификой их геометрии. У такого гиперболоида есть единственная линейчатая поверхность вращения общего вида, которая может быть представлена в виде цилиндра, конуса или плоскости.

К преимуществам башенных градирен относятся: надежная работа в условиях жаркой окружающей среды; возможность охлаждения технологической воды ниже температуры сухого термометра; энергонезависимость — при работе таких установок не требуется электроэнергия; высокая эффективность при простоте эксплуатации и обслуживания; длительный срок службы [4]. Вместе с тем имеются и недостатки: относительная высокая стоимость оборудования и монтажа; высокие эксплуатационные расходы, включающие частую обработку (долив воды), обслуживание компонентов системы; необходимость выделения площади под строительство [5]. Однако все недостатки полностью окупаются вышеупомянутыми преимуществами.

Одним из основных воздействий, на которые рассчитываются железобетонные градирни, является давление ветра. Сложная форма гиперболоидных градирен обуславливает особый характер распределения ветровой нагрузки по их поверхности. При наличии на объекте нескольких расположенных рядом башенных градирен необходимо также учесть возникающие при этом помехи для ветрового потока. Действующие нормы проектирования железобетонных градирен в данном вопросе весьма консервативны, в них используются зависимости, полученные для сооружений цилиндрической формы. Целью настоящей работы явилось исследование распределения ветрового давления на градирню в форме однополостного гиперболоида вращения, а также взаимного влияния близко расположенных градирен.

В рамках поставленной цели были рассмотрены следующие задачи: изучение влияния взаимного расположения градирен на характер распределения ветрового давления, выявление допустимого расстояния между башенными градирнями.

Материалы и методы. Для решения задачи аэродинамики гиперболоидных градирен нами выполнено конечно-элементное моделирование в трехмерной постановке. Рассматриваются оболочки в форме однополостного гиперболоида вращения (рис. 1).

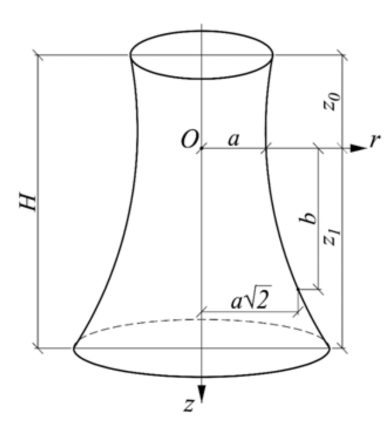


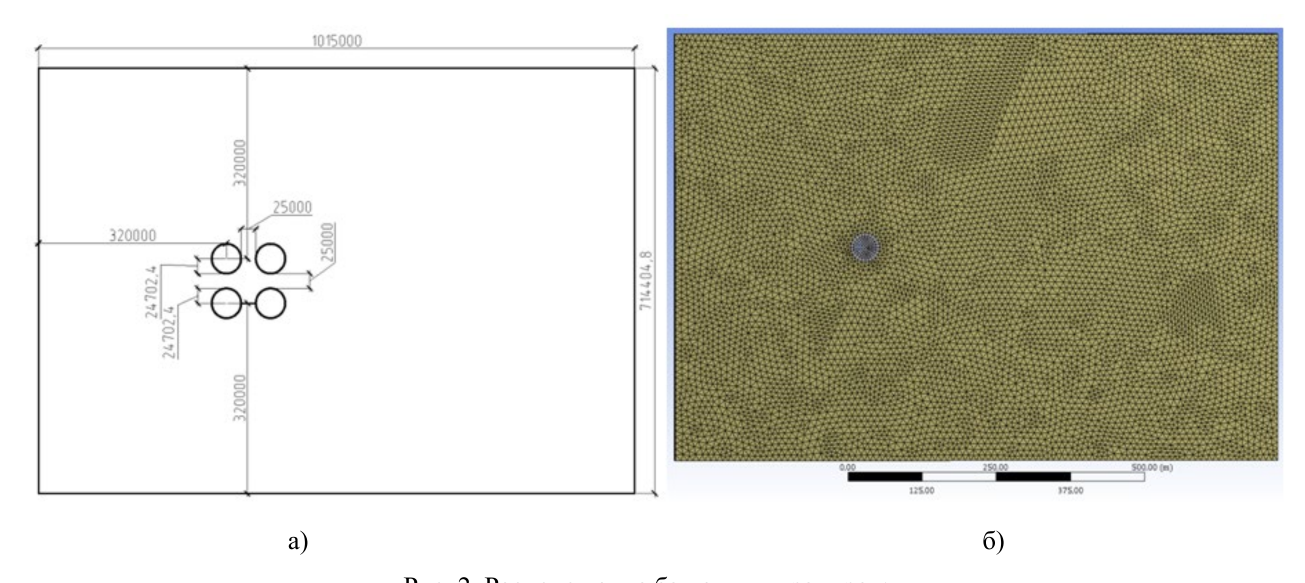
Рис. 1. Градирня гиперболоидного типа (рисунок авторов)

Уравнение меридиана поверхности оболочки имеет вид [6]:

$$r = \frac{a}{b}\sqrt{b^2 + z^2} \quad (1)$$

где a и b — параметры гиперболы.

Расчет выполняется при следующих значениях геометрических параметров: a = 13 м, b = 28,16 м, параметры гиперболы; z_0 = –7,8 м; z_1 = 45,5 м. Таким образом, общая высота градирни составляет 53,3 м. Расположение башенных градирен показано на рис. 2.



а) б)

Рис. 2. Расположение башенных градирен:
а) геометрическая схема; б) конечно-элементная модель в ANSYS [7] (рисунок авторов)

Расчет производится в программном комплексе ANSYS 2019. Воздушное пространство задано размерами 1015000×714404,8×80000 мм. Расстояние между градирнями, равное 25 м, было определено по табл. 4 СП 18.13330.2019, как 0,5×D (но не менее 18 м), где D – диаметр градирни на уровне входных окон.

Объем воздуха моделируется объемными конечными элементами в виде тетраэдров [8]. Около башни выполняется сгущение сетки с минимальным размером ребра конечного элемента 5 м. Для конечных элементов, удаленных от башни, размер ребра составляет 10 м.

Задача аэродинамики рассчитывается в модуле Fluid flow CFX ANSYS [9]. Уравнение поверхности задается в виде:

$$X = \frac{13}{28{,}16} \cdot \sqrt{(28160 \cdot 28160 + [u] \cdot [u])} \cdot cos([v])$$

$$Y = [c] \cdot [u]$$

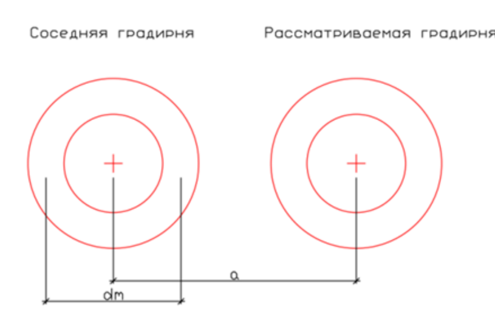
$$Z = \frac{13}{28{,}16} \cdot \sqrt{(28160 \cdot 28160 + [u] \cdot [u])} \cdot sin([v])$$

Коэффициент помех определён по СП 340.1325800.2017 «Конструкции железобетонные и бетонные градирен. Правила проектирования» на основании рис. 3.

Коэффициент помех F_1 определяется по формуле:

$$F_1 = 1 + 0{,}1 \cdot \frac{a_1}{d_m} - \frac{a}{d_m} \geq 1{,}0, \quad (2)$$

где a = 74,1072 — расстояние между градирням; a_1/d_m = 4 — предельное значение параметра по графику.



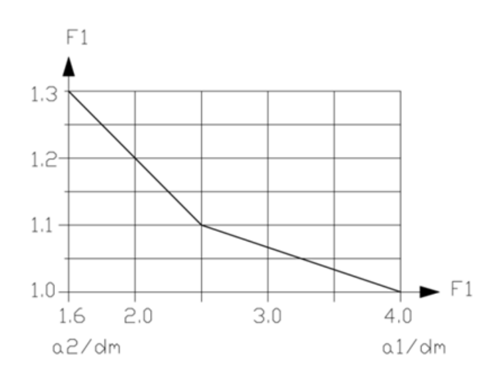


Рис. 3. а) Расстояние между градирнями б) График помехи «градирня – градирня» для зависимости параметра a/d_m от расстояния между верхним пределом a_1/d_m и нижним пределом a_2/d_m (рисунок авторов)

Радиусы тонкостенной оболочки найдены по формуле (1). Радиус нижней кромки оболочки:

$$r_1 = \frac{13}{28,16}\sqrt{28,16^2 + 45,5^2} = 24,7024, \text{ м.}$$

Радиус оболочки в горловине:

$$r_2 = \frac{13}{28,16}\sqrt{28,16^2 + 7,8^2} = 13,4895, \text{ м.}$$

Средний диаметр оболочки:

$$d_m = \frac{d_u + d_t}{2}.$$

$$d_m = (49,4048+26,979)/2 = 38,1919, \text{ м.}$$

Подставив полученные значения в формулу (2), получим:

$$F_1 = 1 + 0,1 \cdot \left(4 - \frac{74,1072}{38,1919}\right) \geq 1,0,$$

$$F_1 = 2,2656 > 1,0.$$

В качестве модели турбулентности в ANSYS используется модель k-epsilon. Данная модель фокусируется на механизмах, которые влияют на кинетическую энергию турбулентности [10]. Уровень турбулентности принят средний (5 %).

На входной грани «Inlet» задается скорость ветра 20 м/с, которая упрощенно принимается постоянной по высоте, как это делается, например, в [11]. На выходной грани «Outlet» и верхней грани объема воздуха (*Top*) избыточное давление *P* принимается равным нулю. Для поверхности земли и поверхности оболочки принимаются граничные условия типа «Wall» (стена). Ввиду небольшой относительной шероховатости поверхности гиперболоидных градирен из монолитного железобетона поверхность оболочки в ANSYS принимается абсолютно гладкой [12–15].

Результаты исследования. Распределение ветрового давления на разных высотах для отдельно стоящей градирни показано на рис. 4–6.

На глобальном диапазоне минимальное и максимальное значение ветровой нагрузки: *min* = 378,821 Па; *max* = 225,284 Па.

В локальном диапазоне на высоте 5 м минимальное и максимальное значение ветровой нагрузки: *min* = 334,833 Па; *max* = 224,425 Па.

На высоте 30 м минимальное и максимальное значение ветровой нагрузки: *min* = 366,419 Па; *max* = 217,442 Па.

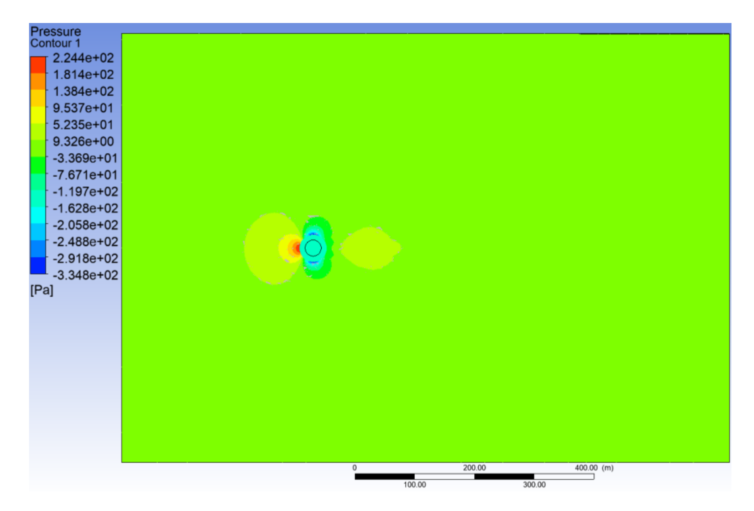


Рис. 4. Распределение ветрового давления для отдельно стоящей градирни на высоте 5 м (рисунок авторов)

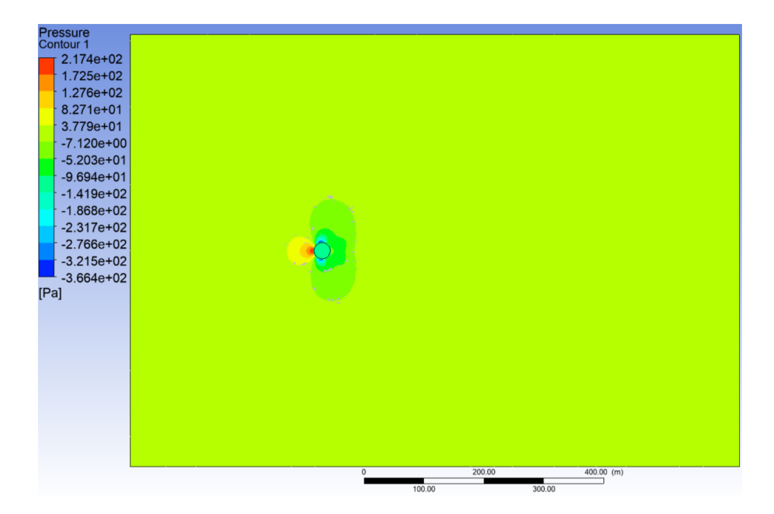


Рис. 5. Распределение ветрового давления для отдельно стоящей градирни на высоте 30 м (рисунок авторов)

На высоте 50 м минимальное и максимальное значение ветровой нагрузки: *min* = –230,128 Па; *max* = 141,526 Па.

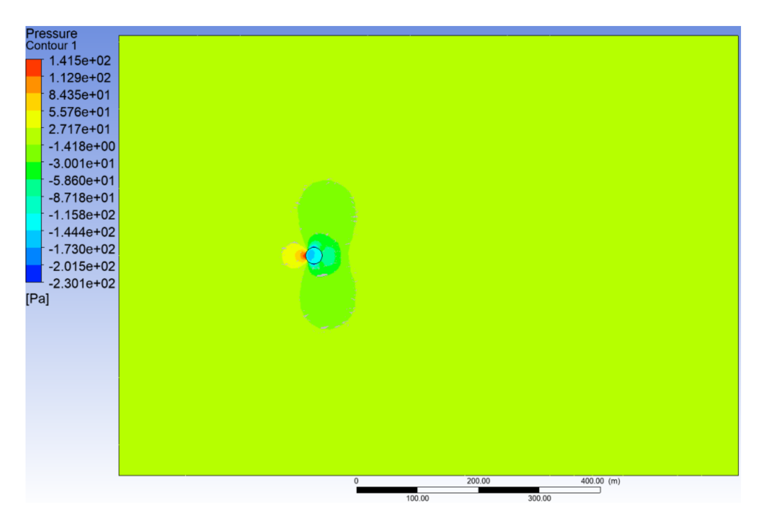


Рис. 6. Распределение ветрового давления для отдельно стоящей градирни на высоте 50 м (рисунок авторов)

На рис. 7 а представлено распределение ветрового давления по окружности для гиперболоидных градирен в соответствии с СП 340.1325800.2017. По СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» для сооружений и

конструктивных элементов с круговой цилиндрической поверхностью характер эпюры ветрового давления имеет вид, показанный на рис. 7 б. И в том, и в другом случае аэродинамические коэффициенты в различных точках по окружности принимаются независящими от высоты.

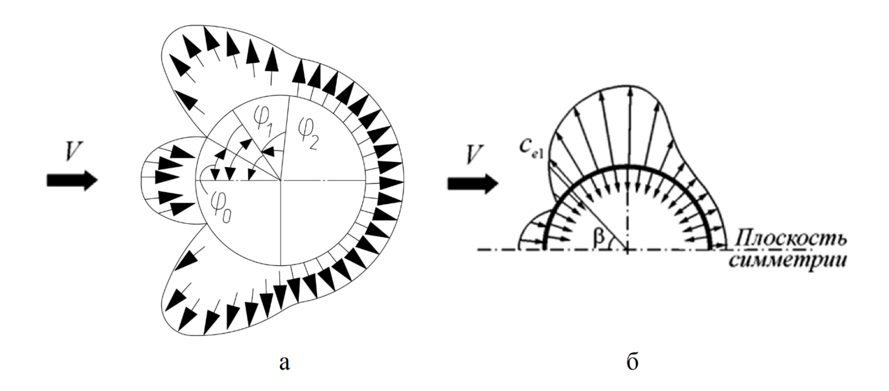
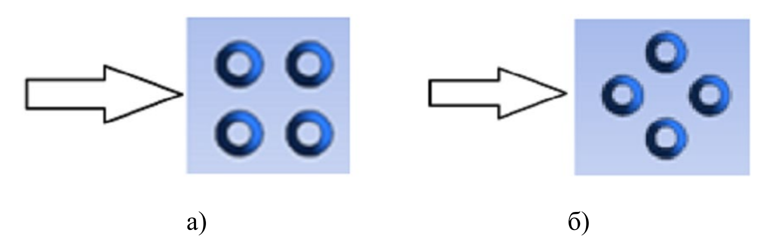


Рис. 7. Отдельно стоящая градирня. Распределение ветрового давления по:
а) СП 340.1325800.2017; б) СП 20.13330.2016 (рисунок авторов)

Из рис. 4-6 видно, что характер распределения ветрового давления по окружности зависит от высоты, что не учитывается в действующих нормах (рис. 7) Но в целом эпюра распределения ветрового давления по окружности на некоторых отметках похожа на представленную в СП 20.13330.2016 и СП 340.1325800.2017.

Далее рассмотрены 2 варианта распределения ветрового давления для нескольких близко расположенных градирен (рис. 8).



а) б)

Рис. 8. Близко расположенные гиперболоидные градирни.
Варианты расположения (стрелкой указано направление действия ветра) (рисунок авторов)

Изополя ветрового давления на различных отметках приведены на рис. 9-11.

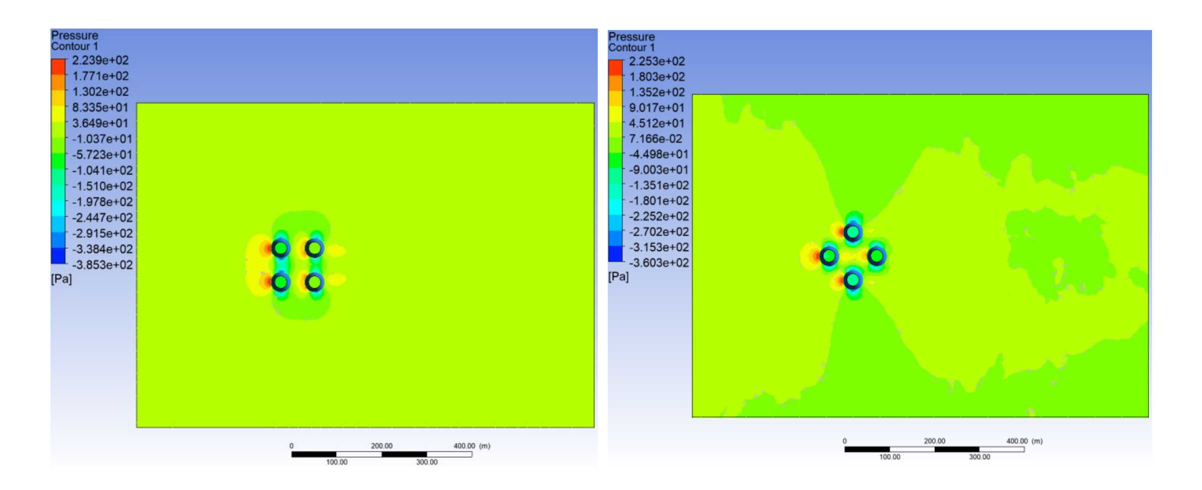


Рис. 9. Распределение ветрового давления для нескольких градирен на высоте 5 м (рисунок авторов)

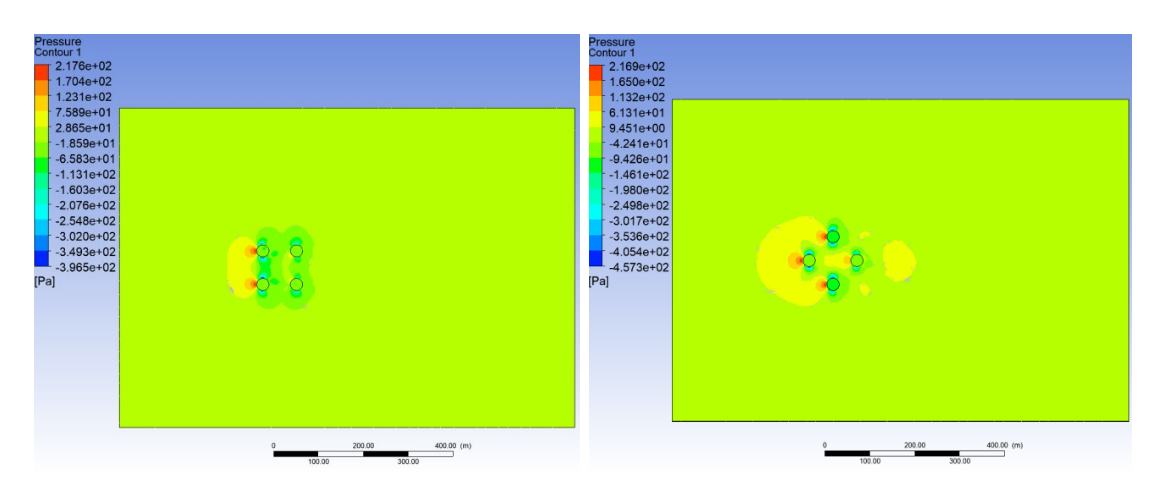


Рис. 10. Распределение ветрового давления для нескольких градирен на высоте 30 м (рисунок авторов)

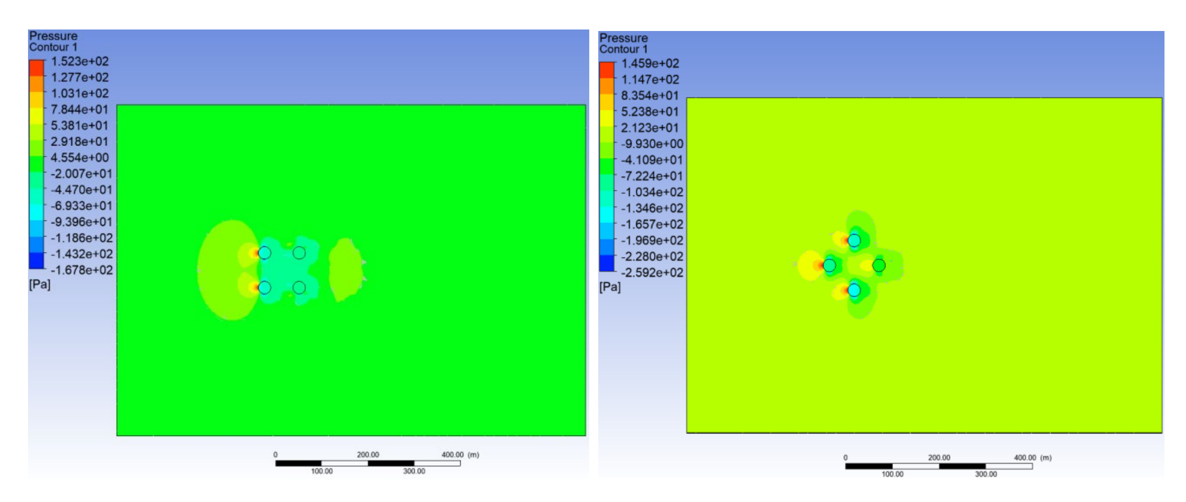


Рис. 11. Распределение ветрового давления для нескольких градирен на высоте 50 м (рисунок авторов)

Результаты расчета по максимальным и минимальным значениям ветрового давления сведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальное и минимальное значение ветрового давления на различных отметках по высоте (в локальном диапазоне)

Отметка, м	Вариант А		Вариант Б	
	min	*max*	*min*	*max*
5	–385,25	223,937	-360,33	225,325
30	–396,52	217,609	-457,27	216,811
50	–167,84	152,322	-259,18	145,853

На глобальном диапазоне минимальное и максимальное значение ветровой нагрузки:

Вариант А: *min* = –427,736 Па, *max* = 224,987 Па.

Вариант Б: *min* = –458,595 Па, *max* = 226,626 Па.

Из табл. 1 видно, что наблюдается расхождение между минимальными значениями ветрового давления при расположении градирен по схеме А и Б, которое составляет 6,7 %. Также наблюдается различие значений

минимального ветрового давления для одной и четырех близко расположенных градирен, которое составляет для А – 11,5 %, для Б – 17,4 %.

Обсуждения и заключение. Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов исследования базируется на применении верифицированного программного комплекса ANSYS. На основе численного анализа получены следующие результаты:

1. Распределение ветрового давления на гиперболоидную градирню по окружности в зависимости от высоты меняется, что не отражают действующие нормы.

2. Установлено расхождение результатов численного моделирования в программном комплексе ANSYS 2019 с положениями СП 340.1325800.2017 «Конструкции железобетонные и бетонные градирен. Правила проектирования». По действующим нормам коэффициент помех, повышающий расчетную величину ветрового давления, составил 2,26, что существенно больше 1, а при моделировании в ANSYS фактический коэффициент помех оказался равным 1,115 для варианта А и 1,174 для варианта Б. Таким образом, расчет ветрового давления по актуальным нормам проектирования может приводить к избыточным запасам прочности.

Библиографический список

1. Осипов, С. Н. Использование воздушных прослоек в ограждениях зданий для энергосбережения при кондиционировании воздуха/ С. Н. Осипов, С. Л. Данилевский, А. В. Захаренко // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. — 2017. — № 5. — С. 470–483. — DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-5-470-483

2. Трушин, С. И. Влияние физической нелинейности на расчётные показатели устойчивости гибких сетчатых однополостных гиперболоидов вращения с образующими различных форм / С. И. Трушин, Ф. И. Петренко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. —2017. — № 4. — С. 50–56. — DOI: 10.22363/1815-5235-2017-4-50-56

3. Сальков, Н. А. Общие принципы задания линейчатых поверхностей. Часть 2. / Н. А. Сальков // Геометрия и графика. — 2019. — Т. 7. — № 1. — С. 14–27. — DOI: 10.12737/article_5c9201eb1c5f06.47425839

4. Щербакова, М. А Обеспечение энергетической и экологической безопасности при модернизации предприятий теплоэнергетики / М. А. Щербакова, Л. И. Осадчая, Л. А. Ничкова // Экономика строительства и природопользования. — 2021. — № 3 (80). — С. 13–18. — DOI: 10.37279/2519-4453-2021-3-13-18

5. Гусев, В. П. Оценка шумового воздействия развитой по мощности ТЭЦ на жилую застройку / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии — 2021. — Т. 2 (34). — С. 123–137. — DOI: 10.21869/2311-1518-2021-34-2-123-137

6. Немировский, Ю. В. Термонапряженное состояние многослойного полиармированного однополостного гиперболоида вращения / Ю. В. Немировский, А. И. Бабин, Е. А. Сальский // Научный вестник НГТ. — 2016. — № 3 (64). — С. 106–116. — DOI: 10.17212/1814-1196-2016-3-106-116

7.Бакулин, В. Н. Блочная конечно–элементная модель для послойного анализа напряжённо-деформированного состояния трехслойных оболочек с нерегулярной структурой / В. Н. Бакулин // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. — 2018. — № 4. — С. 66–73. — DOI: 10.31857/S057232990000701-1

8. Сивак, С. А. Комбинированный векторный метод конечных и граничных элементов для задачи распространения электромагнитного поля с учетом вихревых токов / С. А. Сивак, И. М. Ступаков, Н. С. Кондратьева // Научный вестник НГТУ. — 2018. — Т. 73. — № 4. — С. 79–90. — DOI: 10.17212/1814-1196-2018-4-79-90

9. Моделирование процессов теплообмена внутри герметичного корпуса бинс в мультифизичной постановке в ansys cfx и system coupling / А. А. Медельцев, П. А. Шаповалов, М. В. Воронов [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2022. — № 1 (225). — С. 140–152. — DOI: 10.18522/2311-3103-2022-1-140-152

10. Numerical simulation of cavitation surge and vortical flows in a diffuser with swirling flow / B. Ji, J. Wang, X. Luo, [et. al.] // Journal of Mechanical Science and Technology. — 2016. — Vol. 30. — Pp. 2507–2514. — DOI: 10/1007/s12206-016-0511-0

11. Манеев, А. П. Влияние ветра на фильтрацию газов через оболочку дымовых труб / А. П. Манеев, М. И. Низовцев, В. И. Терехов // Теплоэнергетика. — 2013. — № 4. — С. 20–26. — DOI: 10.1134/S0040363613040061

12. Газаров, А. Р. Исследование возможности применения компьютерных программ и решений для анализа и обработки параметров аэродинамики сооружений / А. Р. Газаров //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2022. — № 3. — С. 236–239. — DOI: 10.24412/2071-6168-2022-3-236-239

13. Кузнецов, В. С. Усилия в зданиях призматической формы при различном распределении ветрового воздействия / В. С. Кузнецов, А. А. Шурушкин //Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции. — 2021. — № 5. — С. 31–39. — DOI: 10.33979/2073-7416-2021-97-5-31-39

14. Лампси, Б. Б. Численное и физическое моделирование ветровых потоков на большепролетное покрытие / Б. Б. Лампси, С. С. Шилов, П. А. Хазов // Вестник МГСУ. — 2022. — Т. 17. — № 1. — С. 21–31. — DOI: 10.22227/1997-0935.2022.1.21-31

15. Иноземцева, О. В. Устойчивость против опрокидывания в практике проектирования высотных зданий/ О. В. Иноземцева, В. К. Иноземцев, Г. Р. Муртазина // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2021. — Т. 17. — № 3. — С. 228–247. — DOI: 10.22363/1815-5235-2021-17-3-228-247

Поступила в редакцию 26.12.2022

Поступила после рецензирования 29.12.2022

Принята к публикации 09.01.2023

Об авторах:

Дутов Владислав Викторович — магистрант кафедры «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, vlad553188@gmail.com.

Чепурненко Антон Сергеевич — профессор кафедры «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, доцент, ScopusID, ORCID, anton_chepurnenk@mail.ru.

Заявленный вклад соавторов:

В. В. Дутов — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов. А. С. Чепурненко — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.




УДК 69.003: 658.5
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-44-54

Научная статья



Перспективы применения BIM-технологий на всех стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта






И. Ю. Зильберова[1], **И. В. Новоселова**[1] ✉, **В. Д. Маилян**[2], **К. С. Петров**[1], **А. Е. Швец**[1]

[1] Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
[2] Южный федеральный университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42
✉ irina1000000@gmail.com

Аннотация

Введение. В современном мире отечественные предприятия строительной отрасли сталкиваются с рядом трудностей. Повышенная неопределенность экономической ситуации в стране вынуждает организации строительной сферы при реализации инвестиционно-строительных проектов подстраиваться под вновь возникающие обстоятельства, сокращать горизонт планирования и применять современные технологии и методы управления. BIM-технологии демонстрируют свою эффективность на всех стадиях жизненного цикла строительных проектов, что обуславливает перспективность их применения в сложившихся реалиях.

Материалы и методы. Возможности применения BIM-технологий в строительных проектах становятся все шире — от ставшего уже привычным проектирования с использованием цифровых моделей до создания обширных баз данных, используемых при моделировании процессов эксплуатации объектов, их реконструкции или даже сноса. На сегодняшний день BIM-технологии являются эффективным инструментом для достижения внутренних целей строительных организаций и при организации эффективного взаимодействия с конечным потребителем строительной продукции.

Результаты исследования. Применение BIM-технологий позволяет принимать эффективные технические и организационно-технологические решения как при стратегическом планировании, так и при оперативном управлении в ходе реализации инвестиционно-строительных проектов. Технологии информационного моделирования позволяют экономить ресурсы на всех стадиях жизненного цикла проектов, однако наилучших результатов можно добиться при комплексном подходе к их внедрению.

Обсуждение и заключения. Получив широкое применение в зарубежной строительной практике, BIM-технологии позволяют снижать общую стоимость и сроки реализации инвестиционно-строительных проектов и при этом повышать качество проектно-изыскательских работ и СМР. Качественные и количественные выгоды для организаций строительной сферы при внедрении технологий информационного моделирования обуславливают интерес к ним со стороны российских компаний. В условиях активной цифровой трансформации, в том числе при поддержке государства, BIM-технологии становятся инструментом оптимизации деятельности предприятий строительной сферы при реализации инвестиционно-строительных проектов на каждой из их стадий, а также повышения конкурентоспособности фирм на отечественном и зарубежных рынках.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, инвестиционно-строительный проект, BIM, управление проектом, цифровая информационная модель.

Для цитирования: Перспективы применения BIM-технологий на всех стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта / И. Ю. Зильберова, И. В. Новоселова, В. Д. Маилян, [и др.] // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2023. – Т. 2, № 1. – С. 44–53. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-44-54.

Original article

Prospects for the Use of BIM Technologies at All Stages of the Life Cycle of an Investment and Construction Project

Inna Yu. Zilberova[1], **Irina V. Novoselova**[1] ✉, **Vadim D. Mailyan**[2], **Konstantin S. Petrov**[1], **Artem E. Shvets** [1]

[1] Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation
[2] Southern Federal University, 105/42, B. Sadovaya St., Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ irina1000000@gmail.com

Introduction. At the present stage, domestic enterprises in the construction industry are faced with a number of difficulties. The increased uncertainty of the economic situation in the country forces the organizations of the construction sector, when implementing investment and construction projects, to adapt to newly emerging circumstances, shorten the planning horizon, and apply modern technologies and management methods. BIM technologies demonstrate their effectiveness at all stages of the life cycle of construction projects, which makes them promising to use in the current realities.
Materials and Methods. The possibilities of using BIM technologies in construction projects are becoming wider - from the familiar design using digital models to the creation of extensive databases used in modeling the processes of operation of objects, their reconstruction or demolition. Today, BIM technologies are an effective tool for achieving the internal goals of construction organizations and for organizing effective interaction with the end user of construction products.
Results. The use of BIM technologies makes it possible to make effective technical, organizational and technological decisions, both in strategic planning and in operational management during the implementation of investment and construction projects. Information modeling technologies save resources at all stages of the project life cycle, but the best results can be achieved with an integrated approach to their implementation.
Discussion and Conclusions. Having been widely used in foreign construction practice, BIM technologies make it possible to reduce the total cost and timing of the implementation of investment and construction projects and at the same time improve the quality of design and survey work and construction and installation work. Qualitative and quantitative benefits for organizations in the construction industry in the implementation of information modeling technologies determine the interest in them from Russian companies. In the context of active digital transformation, including with the support of the state, BIM technologies are becoming a tool for optimizing the activities of construction enterprises in the implementation of investment and construction projects at each of their stages, as well as increasing the competitiveness of firms in the domestic and foreign markets.

Keywords: information modeling technologies, investment and construction project, BIM, project management, digital information model.

For citation: I. Yu. Zilberova, I. V. Novoselova, V. D. Mailyan, [et. al.]. Prospects for the use of BIM technologies at all stages of the life cycle of an investment and construction project. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2023, vol. 2, no 1, pp. 44–53. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-1-44-54.

Введение. Строительство является одной из ключевых отраслей в социально-экономическом развитии страны, выступая важным фактором ее стабильности [1]. Капитальное строительство повышает материальное и культурное состояние общества, решает жилищные проблемы, развивает народное хозяйство. Несмотря на положительную динамику объемов выполненных работ и числа действующих строительных организаций, отрасль имеет ряд ограничений и трудностей [2]. Актуальными проблемами строительной отрасли в Российской Федерации на данный момент являются повышенные сроки выполнения проектов и возведения зданий и сооружений, постоянное повышение стоимости строительных работ и материалов, недостаток квалифицированных рабочих, низкая готовность отрасли к внедрению инновационных технологий, слабая конкурентоспособность компаний на отечественных и зарубежных рынках [3, 4].

Постоянно возрастающая сложность строительных проектов, динамичное изменение и неопределенность условий, невозможность проведения полноценной инженерной подготовки и качественного осуществления контрольно-надзорной деятельности служат причиной внедрения инновационных технологий и поиска новых организационно-управленческих решений для повышения эффективности реализации инвестиционно-строительных проектов [5, 6]. Внедрение инноваций при реализации инвестиционно-строительных проектов на всех стадиях их жизненного цикла приносит значительный экономический эффект, в том числе путем снижения затрат на каждом этапе инвестиционно-строительного и эксплуатационного процесса.

В настоящее время можно наблюдать интенсивное качественное развитие, которое порождает фундаментальные изменения в строительных организациях. Нестабильность и неопределенность на рынке заставляет организации быть гибкими, т. е. уметь подстраиваться к вновь возникающим обстоятельствам. К наиболее актуальным направлениям на сегодняшний день относится развитие цифровизации и технологий информационного моделирования, применение менеджмента качества и современных методов управления на всех этапах жизненного цикла проектов, а также митигация рисков в индивидуальной и групповой деятельности [7].

Материалы и методы. В настоящее время предприятия строительной отрасли России сталкиваются с рядом трудностей и имеют серьезные внешние и внутренние проблемы. Результаты исследования, проведенного Федеральной службой государственной статистики в 2021 году по выявлению факторов, ограничивающих деятельность отечественных строительных предприятий, представлены на рис. 1.



Рис. 1. Факторы, ограничивающие деятельность строительных предприятий в 2021 году (по материалам выборочного обследования Федеральной службы государственной статистики)

Высокая стоимость материалов, конструкций и изделий формирует основной фактор, сокращающий развитие предприятий строительной сферы – это низкий совокупный спрос на услуги со стороны государства, частного корпоративного сектора и населения. При этом строительные фирмы, осуществляющие свою деятельность по договору подряда, не имеют возможности значительно повлиять на изменение данной ситуации.

Повышенная неопределенность экономической ситуации в стране (высокая вероятность возникновения экономических изменений в части инфляционной динамики) вынуждает организации строительной сферы сокращать горизонт стратегического планирования. Это обусловлено тем, что неожиданное принципиальное изменение планов и графиков реализации инвестиционно-строительных проектов влечет за собой значительные

издержки фирмы, особенно при длительных производственных и инвестиционных циклах, что особенно характерно для строительной отрасли [8]. Таким образом, происходит замедление как инвестиционной, так и инновационной активности предприятий строительной сферы, а также снижается рост производительности труда и технологического обновления производства.

Низкая производительность труда и потери в производственных процессах приводят к росту цен на материалы, конструкции, изделия, оборудование и услуги, что повышает конечную стоимость возведения объектов [9]. При низком совокупном спросе это является одним из основных факторов ухудшения финансового положения и конкурентоспособности компаний и обуславливает необходимость внедрения прогрессивных методов управления инвестиционно-строительными проектами с применением современных инновационных технологий, в том числе технологий информационного моделирования (BIM).

Внутренние и внешние ограничения и проблемы в строительной отрасли наблюдаются на всех стадиях реализации инвестиционно-строительных проектов: инвестирование, изыскательские работы, экспертиза и получение разрешения на строительство, определение сметных цен, проектирование, возведение объекта и его эксплуатация.

Количество и детализация процедур делают процессы согласования проектной документации и получения разрешения на строительство достаточно сложными и затянутыми во времени [10]. Зачастую при проведении государственной экспертизы обнаруживается, что проектная документация содержит большое количество ошибок и недостатков, устранение которых производится заказчиком уже по ходу проведения экспертизы. Также наблюдается некоторое отставание в развитии отечественных технических средств и технологий для изыскательских работ от достигнутого зарубежными странами уровня.

На сегодняшний день в большинстве случаев проектная документация в России предоставляется в виде двумерных чертежей. Такие проекты могут содержать в себе ошибки и коллизии разного рода, которые не видны при разработке и экспертизе проектной документации, т. к. отсутствуют инструменты объединения всех элементов (разделов документации), разработанных и рассчитанных разными специалистами, в единую информационную трехмерную модель (BIM) [11]. Ошибки при проектировании влекут за собой серьезные временные и материальные затраты на этапе строительства.

Конструктивные и объемно-планировочные решения здания, системы инженерных коммуникаций, сметная документация и пр. формируются различными специалистами и отделами. Изменения, вносимые в проект в процессе строительства, приводят к увеличению сроков и стоимости работ. Чем позднее будут внесены изменения в проект, тем выше будут издержки строительства (рис. 2). Интегрирование программных продуктов является безусловным преимуществом BIM-технологий, т. к. позволяет снизить стоимость моделирования и упростить визуализацию проектируемого здания

Результаты исследования. Внутренние и внешние ограничения и проблемы в строительной отрасли наблюдаются на всех стадиях реализации инвестиционно-строительных проектов: инвестирование, изыскательские работы, экспертиза и получение разрешения на строительство, определение сметных цен, проектирование, возведение объекта и его эксплуатация.

Количество и детализация процедур делают процессы согласования проектной документации и получения разрешения на строительство достаточно сложными и затянутыми во времени [9]. Зачастую при проведении государственной экспертизы обнаруживается, что проектная документация содержит большое количество ошибок и недостатков, устранение которых производится заказчиком уже по ходу проведения экспертизы. Также

наблюдается некоторое отставание в развитии отечественных технических средств и технологий для изыскательских работ от достигнутого зарубежными странами уровня.

На сегодняшний день в большинстве случаев проектная документация в России предоставляется в виде двумерных чертежей. Такие проекты могут содержать в себе ошибки и коллизии разного рода, которые не видны при разработке и экспертизе проектной документации, т. к. отсутствуют инструменты объединения всех элементов (разделов документации), разработанных и рассчитанных разными специалистами, в единую информационную трехмерную модель (BIM) [10]. Ошибки при проектировании влекут за собой серьезные временные и материальные затраты на этапе строительства.

Конструктивные и объемно-планировочные решения здания, системы инженерных коммуникаций, сметная документация и пр. формируются различными специалистами и отделами. Изменения, вносимые в проект в процессе строительства, приводят к увеличению сроков и стоимости работ. Чем позднее будут внесены изменения в проект, тем выше будут издержки строительства (рис. 2). Интегрирование программных продуктов является безусловным преимуществом BIM-технологий, т. к. позволяет снизить стоимость моделирования и упростить визуализацию проектируемого здания.

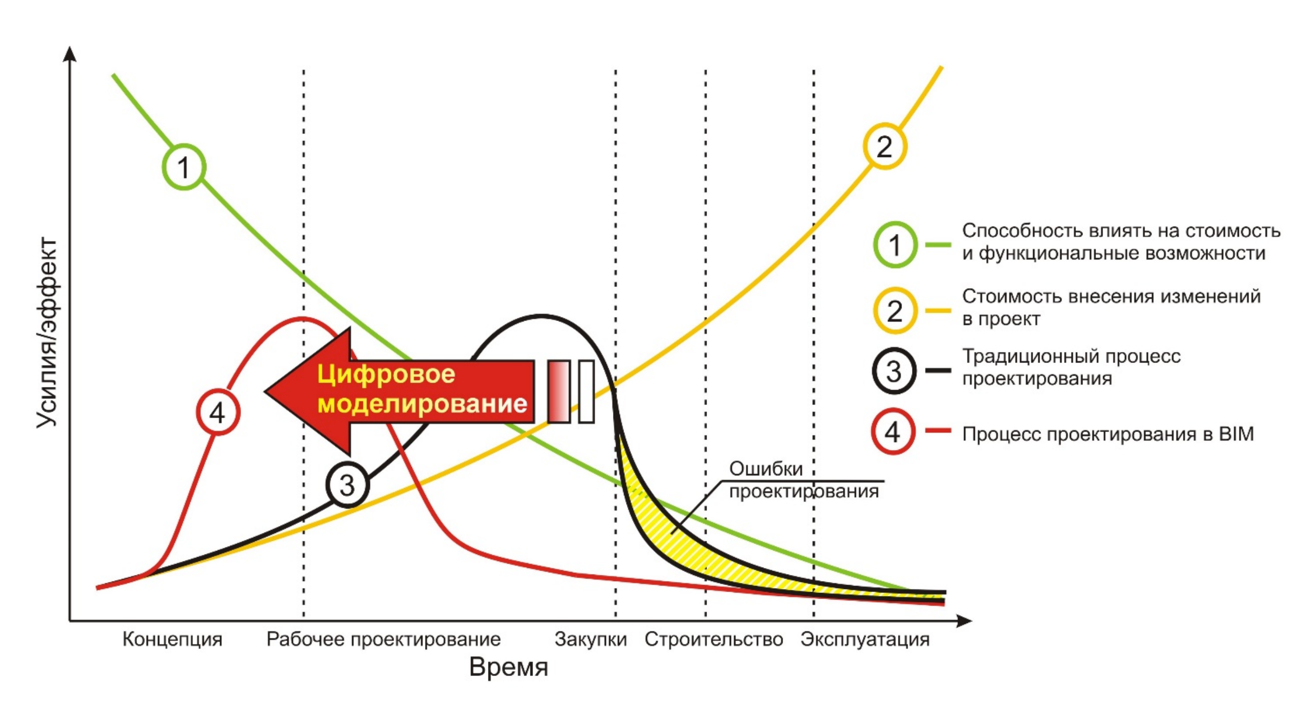


Рис. 2. Процессы проектирования (традиционный и в BIM) [12]

Одной из главных задач при управлении инвестиционно-строительными проектами является установление баланса интересов между техническим заказчиком, проектировщиками и строителями, а также справедливое распределение рисков между всеми участниками проекта [13]. В настоящее время в России нет унифицированных форм контрактов для урегулирования взаимоотношений всех участников инвестиционно-строительной деятельности и распределения рисков. Реализация комплексных строительных проектов с использованием интегрированных договорных отношений не имеет широкого распространения в отечественной практике. Следствием этого является отсутствие общности целей и гармонизации интересов среди участников инвестиционно-строительного процесса. Это приводит к снижению качества проектных и строительно-монтажных работ, повышению сроков и стоимости реализации проектов. Таким образом, сложившиеся условия на строительном рынке перемещают вектор развития организаций строительной сферы к освоению и внедрению новых инструментов и технологий, как основных ресурсов будущего роста [14].

Результаты исследования. Применение BIM-технологий подразумевает в первую очередь создание цифровой информационной модели здания. Далее выполняется реальное строительство объекта. При этом BIM-модель помогает оперативно разрешить текущие задачи, возникающие в ходе осуществления инвестиционно-строительных процессов, а также позволяет принять наиболее эффективные организационно-управленческие решения [15].

Цифровая информационная модель здания формируется в самом начале инвестиционно-строительного проектирования. С использованием специализированного программного обеспечения проектировщиком выполняется разработка 3D-модели здания, элементы которой на различных стадиях будут иметь различный уровень детализации. С развитием проекта 3D-модель дополняется новой информацией, при этом возникающие в проекте ошибки обнаруживаются автоматически. После исправления всех проблемных вопросов и различного рода коллизий начинается выпуск строительной документации. Таким образом, инженер-строитель для выполнения работ получает информацию качественно нового уровня, которая отражает достоверную картину того, каким будет возводимый объект.

На этапе проектирования основным преимуществом BIM выступает возможность экономии времени. При этом, ввиду затрат времени на организацию процесса и обучение сотрудников, ощутить такую экономию в самом начале внедрения технологий BIM при реализации инвестиционно-строительных проектов сложно. Тем не менее, в дальнейшем технология BIM позволяет эффективно управлять рабочим временем при реализации проектов, и его потребуется меньше, а общее время, требуемое для выполнения проекта, может быть сокращено на 20-50 %.

Применение BIM-технологий позволяет экономить ресурсы путем уменьшения количества проектных ошибок или исключения их вовсе, что позволяет обезопасить строительный процесс. Устранение или недопущение ошибок и коллизий возможно даже в случае перехода строительной фирмы на использование BIM-систем, когда процесс проектирования выполнялся в формате 2D, а уже прошедший обучение специалист будет выполнять контроль и тестировать модель в 3D-формате.

Согласно цифровой информационной модели здания можно точно определить технические характеристики объекта, выявить наиболее приемлемые объемно-планировочные и конструктивные решения [16]. Хранение информации при помощи «облачных» технологий позволяет беспрепятственно взаимодействовать всем участникам инвестиционно-строительного проекта. При добавлении к пространственной модели здания параметра времени возможно визуализировать процесс организации строительства, оптимизировать процесс производства работ, использование средств механизации и логистических операций. Таким образом, все участвующие в проекте специалисты с использованием BIM-модели могут с самого начала реализации инвестиционно-строительного проекта вносить в него изменения и обмениваться необходимой информацией. В данном случае цифровая информационная модель здания выступает в качестве интегрированной среды, позволяющей организовать сотрудничество как разработчиков проекта, так и его исполнителей.

Технология BIM позволяет повысить эффективность разработки сметной документации путем применения информационных баз данных и специализированного программного обеспечения, благодаря которым можно проводить мониторинг и анализ затрат на каждом этапе строительных работ, а также выявлять отклонения от бюджетных и плановых нормативов [17].

При реализации инвестиционно-строительного проекта его фактическая стоимость может отличаться от планируемой при проектировании объекта. Зачастую это связано с применением при выполнении оценки объемов работ и их стоимости укрупненных нормативов. При этом в процессе строительства объекта могут быть внесены изменения в проект и график работ, что может привести в итоге к срыву сроков выполнения

строительства, снижению качества строительной продукции и увеличению стоимости объекта. Устаревшая практика проектирования и несовершенство методов строительного надзора приводят к различиям в плановой и фактической стоимости строительства. Таким образом, очевидна необходимость в создании системы объективного контроля документации для объекта строительства по объему и стоимости работ. С использованием BIM-технологий у заказчика появляется возможность мониторинга и контроля за ходом процессов проектирования, строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации объекта капитального строительства, а также контроля расходования средств на всех стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта.

Благодаря BIM-технологиям, которые позволяют создавать высокоинформативные 3D-модели зданий и высокоточные проекты, а также за счет возможности сокращения сроков выполнения строительных операций новые преимущества получает процесс строительного производства. Мобильность осуществления контроля за ходом строительства и соблюдения сроков работ позволяют оптимизировать штат работников организаций строительной сферы.

Перспективно использование BIM-технологий и при контроле точности возведения строительных конструкций зданий [18]. Применение в данном случае инструментов лазерного сканирования позволяет получить облако точек для внесения оперативных изменений в проект, что является важным при выполнении ремонтно-строительных работ на объекте и при его эксплуатации. Таким образом, объем данных, полученный на этапе проектирования и строительства, после того, как объект будет сдан и введен в эксплуатацию, может быть передан для формирования системы мониторинга и управления техническим состоянием объекта. При реализации инвестиционно-строительного проекта с использованием BIM-технологий данные о здании накапливаются на протяжении всего его жизненного цикла.

Этап эксплуатации, как правило, является самым длительным в жизненном цикле проекта и растягивается на десятилетия. Наличие BIM-модели здания приносит значительную пользу и выгоду собственнику объекта, т. к. с помощью нее возможна эффективная организация системы технической эксплуатации объекта, разработка планов ремонтных работ, а также учет расходуемых на эксплуатацию ресурсов и платежей. Однако в настоящее время информационная модель имеется не у всех объектов капитального строительства ввиду того, что многие здания были построены давно, или проектирование объектов было выполнено с применением устаревших технологий. При этом BIM-технологии позволяют сформировать цифровую информационную модель объекта на основе имеющейся проектной документации, а также по результатам обследования зданий или сооружений.

Применение BIM позволяет экономить ресурсы на всех стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта, но повысить эффективность реализации проектов в наибольшей степени возможно только при применении комплексного подхода к внедрению современных информационных технологий. Чем более полной и точной информацией будет наполнена BIM-модель объекта, тем больше средств сэкономит инвестор. Кроме того, оптимизация экономических, экологических и энергетических параметров объекта в BIM-модели позволит экономить ресурсы будущему владельцу здания [19]. Тем не менее отсутствие организации и культуры работы с BIM-системами негативно сказывается на динамике их применения организациями строительной сферы, что обуславливает актуальность определения целей и задач применения BIM на каждом этапе инвестиционно-строительного проекта и необходимость разработки соответствующей нормативно-технической документации [20].

Обсуждение и заключения. На основании анализа проблем строительного сектора можно сделать вывод, что внедрение технологий информационного моделирования (BIM), современных методов управления инвестиционно-строительными проектами, интегрированных договорных отношений, инновационных

технологий в области производства строительной продукции, а также совершенствование систем ценообразования и проведения торгов на подрядные работы являются приоритетными задачами национальной экономической программы. Можно выделить следующие ключевые цели развития отечественной строительной отрасли:

– снижение стоимости и сроков реализации инвестиционно-строительных проектов;
– повышение качества изыскательских, проектных и строительных работ;
– повышение конкурентоспособности российских организаций на отечественном и зарубежных рынках;
– повышение готовности отрасли и организаций к внедрению инноваций;
– повышение эффективности деятельности предприятий строительной сферы.

Достижение этих целей возможно путем адаптации российского строительного рынка и технического регулирования отрасли к международным стандартам, а также переход организаций строительной сферы на концепцию устойчивого строительства с применением современных информационных технологий. Использование BIM-технологий в строительной сфере позволяет предотвратить ошибки в документации и обеспечить безопасную эксплуатацию зданий, экономить средства бюджетов разного уровня, а также увеличить скорость строительных процессов на 10-30 %.

В настоящее время можно наблюдать тенденцию активного внедрения BIM-технологий при государственной поддержке. Согласно исследованию компании PlanRadar, проведенному в марте 2021 года, только около 12 % застройщиков в России используют BIM для проектирования (в 2020 году – 7 %). При этом отмечается, что именно в России на государственном уровне предпринимаются наиболее активные действия, чем в других исследуемых странах, для ускорения развития и внедрения BIM-технологий.

С 1 марта 2022 года в России применение BIM становится обязательным для строительных объектов, финансируемых за счет бюджетных средств любого уровня. А в июле 2022 года единый институт развития в жилищной сфере «ДОМ.РФ» сообщил о разработке национального стандарта, содержащего требования к информационным моделям жилых зданий. Таким образом, в России интерес к BIM серьезно вырос как на государственном уровне, так и среди организаций строительной отрасли. При этом строительные фирмы при реализации инвестиционных проектов внедряют современные информационные технологии с различной степенью эффективности. Затраты на мероприятия по внедрению BIM для компаний зависят от общих особенностей этого процесса, характерных для большинства организаций, а также индивидуальных особенностей каждой отдельной предпринимательской структуры.

Несмотря на активное внедрение BIM-технологий, в настоящее время в строительном секторе наблюдается дефицит инженерных кадров, руководителей и других специалистов с высшим профильным образованием в отрасли, при этом особенно возрастает востребованность в специалистах в области решений, основанных на информационных и интеллектуальных технологиях. Ключевыми требованиями отраслевой профессиональной компетентности становятся навыки и знания в областях использования технологий информационного моделирования и управления строительными проектами на всех этапах их жизненного цикла. Внедрение BIM-технологий в процесс проектирования и строительства имеет стратегический характер.

Библиографический список

1. Ivanova, D. G. The investment process features in housing construction of municipalities / D. G. Ivanova, O. E. Ivanova, S. A. Sukhinin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2020. — Vol. 913. — P. 052017. — DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/913/5/052017.

2. Zelentsov, L. Methodology of making organizational and technological decisions at the stage of operational management of construction operations based on the forecasting system / L. Zelentsov, L. Mailyan, D. Pirko // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — Vol. 213. — P. 022114. — DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/2/022114.

3. Никулина, О. В. Принципы экономической безопасности в аспекте управления строительством / О. В. Никулина // Инженерный вестник Дона. — 2017. — № 4 (47). — С. 216.

4. Integration of BIM and GIS technologies for sustainable development of the construction industry / S. Sheina, K. Chubarova, D. Dementeev, A. Kalitkin // Lecture Notes in Networks and Systems. — 2022. — Pp. 1303–1311. — DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_132.

5. Kluchnikova, O. Rationalization of strategic management principles as a tool to improve a construction company services / O. Kluchnikova, O. Pobegaylov // Procedia Engineering. — 2016. — Vol. 150. — Pp. 2173–2177. — DOI: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.259.

6. Томашук, Е. А. Влияние факторов рисков и неопределенности на работу строительного производства/ Е. А. Томашук, Д. В. Шишкунова // Научное обозрение. — 2013. — № 11. — С. 165–168.

7. BIM implementation of a full life cycle of building / A. V. Mishchenko, E. P. Gorbaneva, M. A. Preobrazhensky, V. Y. Mishchenko // AIP Conference Proceedings. — 2022. — Vol. 2559. — P. 040006. — DOI: https://doi.org/10.1063/5.0099692.

8. Баркалов, С. А. Подход к оптимизации социально-экономической эффективности строительной инвестиционной программы / С. А. Баркалов, О. С. Перевалова // Системы управления и информационные технологии. — 2019. — № 2 (76). — С. 75–78.

9. Optimal order of construction of facilities in complex development with minimal additional costs / A. Mailyan, E. Korol, R. Petrosyan, D. Antoniadi // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2020. — Vol. 896. — P. 012052. — DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012052.

10. Zilberova, I. Y. Methods and models of multi-criteria evaluation of design solutions for installation of special constructions, used for problem-solving of judicial construction and technical expertise / I. Y. Zilberova // Materials Science Forum. — 2018. — Vol. 931. — Pp. 834–839. — DOI: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.834.

11. 4D BIM for construction planning and environmental planning / S. Sheina, E. Seraya, V. Krikunov, N. Saltykov // E3S Web of Conferences. — 2019. — Vol. 110. — P. 01012. — DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911001012.

12. Лушников, А. С. Оценка эффективности использования технологий информационного моделирования при реализации инвестиционно-строительных проектов / А. С. Лушников // Вестник гражданских инженеров. — 2016. — № 5 (58). — С. 186–194.

13. Курочка, П. Н. Механизмы управления рисками в сложных многоуровневых системах / П. Н. Курочка, Ч. Т. Хонг // Экономика и менеджмент систем управления. — 2015. — № 2 (16). — С. 53–60.

14. Organizational and technological computeraided process of real estate management / L. Girya, E. Zorenko, N. Ulianov [et. al.] // E3S Web of Conferences. – 2021. — Vol. 263. — P. 04032. — DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126304032.

15. Совершенствование процесса строительства с использованием BIM-технологий / Л. Б. Зеленцов, К. А. Цапко, И. Ф. Беликова, Д. В. Пирко // Инженерный вестник Дона. — 2020. — № 3 (63). — С. 3.

16. Digital models of parametric structures / G. Kravchenko, L. Panasyuk, E. Trufanova, L. Pudanova // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — Vol. 2131. — P. 022118. — DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/2/022118.

17. Никитина, Е. А. Внедрение BIM-технологий в сметную документацию / Е. А. Никитина // Инженерный вестник Дона. — 2020. — № 12 (72). — С. 1–9.

18. Шеина, С. Г. Пример применения BIM-технологий при обследовании зданий и сооружений / С. Г. Шеина, Е. В. Виноградова, Ю. С. Денисенко // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 6 (78). — С. 340–346.

19. Sevryukova, K. S. Factor systems simulation at all phases of an energy-efficient project life cycle / K. S. Sevryukova, E. P. Gorbaneva, V. Y. Mishchenko // AIP Conference Proceedings. — 2022. — Vol. 2559. — P. 040009. — DOI: https://doi.org/10.1063/5.0099693.

20. Анализ сферы управления проектами строительной деятельности / Л. В. Гиря, Т. Ш. Ахобадзе, Е. П. Попов [и др.] // Инженерный вестник Дона. — 2020. — № 11. — С. 56–63.

Поступила в редакцию 27.01.2023

Поступила после рецензирования 29.01.2023

Принята к публикации 09.02.2023

Об авторах:

Зильберова Инна Юрьевна — доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID, zilberova2011@yandex.ru.

Новоселова Ирина Валерьевна — старший преподаватель кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, irina1000000@gmail.com.

Маилян Вадим Дмитриевич — доцент кафедры «Инженерно-строительные дисциплины» Южного федерального университета (344006 РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42), кандидат технических наук, ORCID, mailian@sfedu.ru.

Петров Константин Сергеевич — старший преподаватель кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, pks81@bk.ru.

Швец Артем Евгеньевич — магистрант кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, shvets.artyom@mail.ru.

Заявленный вклад соавторов:

И. Ю. Зильберова — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство, доработка текста, корректировка выводов. И. В. Новоселова — подготовка текста, анализ результатов исследований, формирование выводов. В. Д. Маилян — подготовка текста, анализ результатов исследований, формирование выводов. К. С. Петров — подготовка текста, анализ результатов исследований, формирование выводов. А. Е. Швец — подготовка текста, анализ результатов исследований, формирование выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.